

Diffuse Staubemissionen

Schriftenreihe, Heft 26/2010



**Ermittlung von Emissionsfaktoren für (Fein)Staub aus Bauschuttrecyclinganlagen einschließlich
Nachrechnung nach VDI 3790 Blatt 3**

Ralf Heidenreich, Dirk Schmidt, Andreas Böhme
Torsten Moczigemba, Peter Fleischer

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	10
2	Analyse der Emissionsquellen und Festlegung der Probenahmestellen	12
2.1	Emissionsquellen	12
2.2	Probenahmestellen	13
2.3	Mobile Messeinheit.....	14
2.3.1	Aufbau der Absaugeinheit	14
2.3.2	Flugzeitspektrometer APS 3321	14
2.4	Stationär betriebene Messgeräte	15
2.4.1	Streulichtspektrometer Modell 1.108	15
2.4.2	Impaktoren	15
2.4.3	Feuchte, Temperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit.....	16
2.5	Ablauf der Untersuchungen.....	16
3	Messergebnisse	17
3.1	Messkampagne 1	17
3.2	Messkampagne 2	21
3.3	Messkampagne 3	34
4	Staubanalyse	41
4.1	Bewertung der Quarzkonzentration der PM4-Fraktion	41
4.2	Dichtebestimmung.....	41
4.3	REM/EDX- und XRD-Analyse	42
4.4	Bestimmung der Partikelform	44
5	Bestimmung der Massenkonzentrationen	44
5.1	Flugzeitspektrometer APS 3321	44
5.2	Überführung/Umwandlung der Messergebnisse.....	45
5.3	Dokumentation der Datenarchivierung	47
6	Ermittlung der Emissionskonzentrationen	47
7	Berechnung und Charakterisierung des Ausbreitungsverhaltens.....	49
7.1	Berechnung der Ausbreitung und Deposition	49
7.2	AUSTAL2000	50
7.3	Ergebnis der Ausbreitungsrechnung – bestimmungsgemäßer Normalbetrieb	55
7.4	Ergebnis der Ausbreitungsrechnung – ohne Bewässerung der Fahrwege.....	59
8	Bewertung der Messergebnisse	62
9	Zusammenfassung Messung	63
10	Nachrechnung der Messergebnisse nach VDI 3790 Blatt 3	65
10.1	Gründe für die Nachrechnung und das ausgewählte Rechenmodell	65
10.2	Festlegung des Quellenplans und Referenzmesspunkte	66

10.3	Festlegung der Rechentage	68
10.4	Ermittlung der Emissionsfaktoren nach VDI 3790 Blatt 3	68
10.5	Anpassung der Winddaten an den Standort und die Rechentage sowie die Rechen- zeiten.....	70
10.6	Ergebnisse der Rechnung, Randbedingungen.....	71
10.6.1	Ergebnisse nach VDI 3790 Blatt 3	72
10.6.1.1	Ergebnisse für den 04.06.2009	72
10.6.1.2	Ergebnisse für den 01.09.2009	73
10.6.2	Anpassung der Rechnung durch Variation der Quellen	74
10.6.2.1	Ergebnisse für den 04.06.2009	74
10.7	Auswertung der Nachrechnung und Zusammenfassung.....	76
11	Literaturverzeichnis	77
12	Anhang	79
12.1	Protokoll Dichtebestimmung.....	79
12.2	Auswertung Laseraerosolspektrometer.....	80
12.3	Windgeschwindigkeit.....	81
12.4	Emissionsfronten Messkampagne 3.....	81
12.5	Protokolle Berner-Kaskadenimpaktor.....	82
12.6	Messprotokolle GMU-Kaskadenimpaktor Johnas II	89
12.7	Flugzeitspektrometer Messergebnisse.....	93
12.8	Kalibrierprotokoll Flugzeitspektrometer APS 3321	111
12.9	Filteruntersuchungen (SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH).....	112
12.10	Protokolle zur Nachrechnung nach VDI 3790, Blatt 3	124

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage des Standorts im Elbtal	11
Abbildung 2:	Anlieferung (links oben), Verschieben des Bauschutts (rechts oben), Staubentwicklung beim Brechen von armierten Betonteilen (Berieselung aus, links unten), Beschickung Brecher (rechts unten)	12
Abbildung 3:	Luftbild des Messorts (Stand 05/2008), Messpunkte der Messkampagne 2 und Messkampagne 3	13
Abbildung 4:	Messfahrzeug mit Absaugeinheit und Messgeräten zur Partikelgrößenbestimmung	14
Abbildung 5:	Messpunkt 7, Standort der stationär betriebenen Messgeräte	15
Abbildung 6:	(07.10.2008) Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit (links), Auswertung Laseraerosolspektrometer Grimm 1.108 (rechts)	17
Abbildung 7:	Staubkonzentration im Untersuchungszeitraum, Laseraerosolspektrometer Grimm 1.108..	18
Abbildung 8:	Staubkonzentration im Untersuchungszeitraum, Laseraerosolspektrometer Grimm 1.108..	19
Abbildung 9:	Summenverteilungen in Abhängigkeit vom Betriebszustand auf der Bauschuttrecycling-anlage (Laseraerosolspektrometer)	20
Abbildung 10:	(07.10.2008) Verteilungssumme $Q3(x)$ und Verteilungsdichte $q3(x)$	20
Abbildung 11:	(07.10.2008) Partikelkonzentration Messpunkt 4	21
Abbildung 12:	(27.05.2009) links: Hauptwindrichtung Nord-West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	22
Abbildung 13:	(27.05.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)	23
Abbildung 14:	(27.05.2009) Verteilungssumme $Q3(x)$ und Verteilungsdichte $q3(x)$	23
Abbildung 15:	(27.05.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration	24
Abbildung 16:	(27.05.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration	24
Abbildung 17:	(28.05.2009) links: Hauptwindrichtung West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	25
Abbildung 18:	(28.05.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)	26
Abbildung 19:	(28.05.2009) Verteilungssumme $Q3(x)$ und Verteilungsdichte $q3(x)$	26
Abbildung 20:	(28.05.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration	27
Abbildung 21:	(28.05.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration	27
Abbildung 22:	(03.06.2009) links: Hauptwindrichtung Nord-West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	28
Abbildung 23:	(03.06.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)	29
Abbildung 24:	(03.06.2009) Verteilungssumme $Q3(x)$ und Verteilungsdichte $q3(x)$	29
Abbildung 25:	(03.06.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration	30
Abbildung 26:	(03.06.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration	30

Abbildung 27:	(04.06.2009) links: Hauptwindrichtung Nord-West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	31
Abbildung 28:	(04.06.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)	32
Abbildung 29:	(04.06.2009) Verteilungssumme $Q3(x)$ und Verteilungsdichte $q3(x)$	32
Abbildung 30:	(04.06.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration	33
Abbildung 31:	(04.06.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration	33
Abbildung 32:	Brecher mit neuer Siebmaschine, Messkampagne 3	34
Abbildung 33:	(25.08.2009) links: Hauptwindrichtung Süd-Ost (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	35
Abbildung 34:	(25.08.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)	35
Abbildung 35:	(25.08.2009) Verteilungssumme $Q3(x)$ und Verteilungsdichte $q3(x)$	36
Abbildung 36:	(25.08.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration	36
Abbildung 37:	(25.08.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration	37
Abbildung 38:	Staubentwicklung bei Verzicht auf die Bewässerung der Fahrwege	37
Abbildung 39:	(01.09.2009) links: Hauptwindrichtung Ost (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	38
Abbildung 40:	(01.09.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)	39
Abbildung 41:	(01.09.2009) Verteilungssumme $Q3(x)$ und Verteilungsdichte $q3(x)$	39
Abbildung 42:	(01.09.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration	40
Abbildung 43:	(01.09.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration	40
Abbildung 44:	Übersichtsaufnahme, PC-Kernporenfilters mit typischen Partikeln	42
Abbildung 45:	Übersichtsspektrum, PC-Kernporenfilter	43
Abbildung 46:	Verteilung der Formfaktoren der ausgewerteten Partikel	44
Abbildung 47:	Mittlere $PM_{2,5}$ - und PM_{10} -Massenkonzentrationen an den Messpunkten	46
Abbildung 48:	Emissionsfronten und Hauptwindrichtung, Messkampagne 2	47
Abbildung 49:	Bodenraugigkeit im Elbtal (links) und am Standort der Bauschuttrecycling-anlage (rechts), CORINE-Katasters	51
Abbildung 50:	Windstatistik des DWD	52
Abbildung 51:	Windstatistik Messkampagne 2 (links), Windstatistik Messkampagne 3 (rechts)	52
Abbildung 52:	Eingabedaten für die Ausbreitungsrechnung bei bestimmungsgemäßigem Betrieb	54
Abbildung 53:	Eingabedaten für die Ausbreitungsrechnung bei Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege	55
Abbildung 54:	Logfile, bestimmungsgemäßer Betrieb der Bauschuttrecyclinganlage	55
Abbildung 55:	Jahresmittelwert Staubkonzentration (Zusatzbelastung), bestimmungsgemäßer Betrieb (Datei: pm-j00z.dma)	57
Abbildung 56:	Jahresmittelwert Staubdeposition (Zusatzbelastung), bestimmungsgemäßer Betrieb (Datei: pm-depz.dma)	58

Abbildung 57:	Logfile, Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege auf der Bauschuttrecyclinganlage	59
Abbildung 58:	Jahresmittelwert Staubkonzentration (Zusatzbelastung), Betrieb ohne Bewässerung Fahrwege (Datei: pm-j00z.dma)	60
Abbildung 59:	Jahresmittelwert Staubdeposition (Zusatzbelastung), Betrieb ohne Bewässerung Fahrwege (Datei: pm-depz.dma)	61
Abbildung 60:	Quellenplan	66
Abbildung 61:	Mess- und Rechenpunkte	67
Abbildung 62:	Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für den 01.09.2009	72
Abbildung 63:	Ergebnis der modifizierten Ausbreitungsrechnung für den 04.06.2009	75
Abbildung 64:	Protokoll Dichtebestimmung	79
Abbildung 65:	Emissionsfronten und Hauptwindrichtung, Messkampagne 3	81
Abbildung 66:	(27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1	93
Abbildung 67:	(27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2	93
Abbildung 68:	(27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3	94
Abbildung 69:	(27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4	94
Abbildung 70:	(27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5	95
Abbildung 71:	(27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6	95
Abbildung 72:	(28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1	96
Abbildung 73:	(28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2	96
Abbildung 74:	(28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3	97
Abbildung 75:	(28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4	97
Abbildung 76:	(28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5	98
Abbildung 77:	(28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6	98
Abbildung 78:	(03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1	99
Abbildung 79:	(03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2	99
Abbildung 80:	(03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3	100
Abbildung 81:	(03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4	100
Abbildung 82:	(03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5	101
Abbildung 83:	(03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6	101
Abbildung 84:	(04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1	102
Abbildung 85:	(04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2	102
Abbildung 86:	(04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3	103
Abbildung 87:	(04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4	103
Abbildung 88:	(04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5	104
Abbildung 89:	(04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6	104
Abbildung 90:	(25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1	105
Abbildung 91:	(25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2	105
Abbildung 92:	(25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3	106
Abbildung 93:	(25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4	106
Abbildung 94:	(25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5	107

Abbildung 95:	(25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6	107
Abbildung 96:	(01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1	108
Abbildung 97:	(01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2	108
Abbildung 98:	(01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3	109
Abbildung 99:	(01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4	109
Abbildung 100:	(01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5	110
Abbildung 101:	(01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6	110
Abbildung 102:	Kalibrierzertifikat, Flugzeitspektrometer APS 3321	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	(27.05.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion	25
Tabelle 2:	(28.05.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion	28
Tabelle 3:	(03.06.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion	31
Tabelle 4:	(04.06.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion	34
Tabelle 5:	Messkampagne 2, Quarzanteil an der Gesamtmasse von PM10 und PM4	41
Tabelle 6:	Quellstärken der vier Linienquellen	48
Tabelle 7:	Zuordnung von Partikelklassen, Sink- und Depositionsgeschwindigkeiten	50
Tabelle 8:	Zuordnung der Geländerauigkeiten	51
Tabelle 9:	Gegenüberstellung der Messwerte und Berechnungsergebnisse	64
Tabelle 10:	Quellen der Bauschuttrecyclinganlage Karl Köhler GmbH & Co. KG	67
Tabelle 11:	Emissionen Linienquellen/Fahrwege	69
Tabelle 12:	Emissionen Flächenquellen/Halden	70
Tabelle 13:	Emissionen Punktquellen/Brecherbeschickung und -abwurf	70
Tabelle 14:	Rechenergebnisse für den 04.06.2009 ohne Modifikation.....	72
Tabelle 15:	Rechenergebnisse für den 01.09.2009 ohne Modifikation.....	73
Tabelle 16:	Rechenergebnisse für den 04.06.2009 mit Modifikation.....	74
Tabelle 17:	Rechenergebnisse für den 01.09.2009 mit Modifikation.....	75

1 Aufgabenstellung

Die qualitative und quantitative Charakterisierung diffuser Staubemissionen von Bauschuttrecyclinganlagen ist auf Grund der vielen Einflussparameter sowie der starken örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Emissionen und Immissionen sehr aufwändig und schwierig. Herkömmliche Messmethoden und -konzepte sind hier nicht ohne weiteres anwendbar. Die zuständigen Überwachungsbehörden und das LfULG sollen aber in die Lage versetzt werden, das Emissionspotenzial (und über Ausbreitungsrechnung auch Immissionspotenzial) beim Betrieb von Bauschuttrecyclinganlagen abschätzen zu können. Damit wäre zukünftig auch eine qualifizierte Überprüfung von Immissionsprognosen möglich.

Im Rahmen des Fremdleistungsvorhabens des LfULG "Ermittlung der diffusen Partikelemission und Korngrößenverteilung eines Asphaltmischwerkes" wurde am Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden (ILK) eine mobile Probenahme- bzw. Messeinrichtung für das Abrastern von Abluftfahnen entwickelt und in einer Messkampagne im Asphaltmischwerk Freital zum Einsatz gebracht. Der entsprechende Abschlussbericht steht im Internet zur Verfügung. Ausgehend von den dort gewonnenen Erfahrungen sollen nunmehr die diffusen Staubemissionen einer Bauschuttrecyclinganlage ermittelt werden.

Leistungsgegenstand

Für die Bestimmungen der Emission an der Bauschuttrecyclinganlage ist eine Modifizierung der im Rahmen des Fremdleistungsvorhabens des LfULG "Ermittlung der diffusen Partikelemission und Korngrößenverteilung eines Asphaltmischwerkes" entwickelten mobilen Messeinrichtung auf Grundlage der gewonnen Erkenntnisse vorzunehmen. Insbesondere sind folgende Änderungen vorzunehmen:

- Die Messhöhen werden auf 4 m und 8 m und
- der Korngrößenbereich auf $> 0,5 \mu\text{m}$ bis $< 20 \mu\text{m}$ beschränkt.

Zusätzlich sind mittels Kaskaden-Impaktor die Anteile im Gesamtstaub zu ermitteln.

Vor den Messungen ist eine Erprobung des modifizierten Messsystems durchzuführen (Probenahmeeinrichtung und Messtechnik). Bei Messaufbau mit unterschiedlich langen Ansaugwegen des Messgases sind Repräsentativität und Vergleichbarkeit nachzuweisen. Es ist darzulegen, wie die Qualitätssicherung im Rahmen der Messung erfolgt.

Im Anschluss ist mit der Durchführung von Messungen im Bereich der Bauschuttrecyclinganlage der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau zur Ermittlung von diffusen Partikelemissionen und deren Korngrößenverteilung sowie des PM₁₀- und PM_{2.5}-Anteils im Gesamtstaub zu beginnen. Da im zeitigen Frühjahr und mit Beginn des Herbstes die Niederschlagshäufigkeit wesentlich höher und damit die Staubentwicklung rückläufig ist, sollen die Messungen jeweils nicht vor dem 01.05. beginnen und nicht länger als bis zum 31.10. dauern. Die Messungen

sollten bei bestimmungsgemäßen Normalbetrieb (mit Bewässerung) sowie bei abgeschalteter Bewässerung der Anlage durchgeführt werden.

Mit den Messungen sollen die Emissionen der Anlage für jeweils 6 - 8 Stunden erfasst werden. Die Messebene soll im Bereich der südöstlichen Anlagenseite liegen. Es sind geeignete Messpunkte festzulegen. Diese sind gleichmäßig auf den Bereich der südöstlichen Anlagenseite zu verteilen. Der Zeittakt für die Messung an einem Messpunkt soll nicht länger als 5 Minuten je Messhöhe betragen. Die Messpunkte sind nacheinander pro Messtag mindestens viermal anzufahren. Der Standort für den Impaktor soll sich ebenfalls auf der südöstlichen Anlagenseite befinden. Er ist dort jeweils für die Dauer eines Messtages aufzustellen.

Während der Messungen sind der Betriebszustand der Anlage und die Parameter Temperatur, Luftfeuchte, Windrichtung und -stärke sowie Turbulenzen zu erfassen. Der Standort für eine meteorologische Station ist auf der sich an die Bauschuttrecyclinganlage nordwestlich anschließende Bodenbörse der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau auszuwählen. Die diffusen Staubemissionen der Anlage sind unter Einbeziehung der meteorologischen Daten nachvollziehbar zu berechnen, ggf. unter Heranziehung einer Ausbreitungsmodellierung bzw. Quelltermrückrechnung unter Berücksichtigung der VDI 3790.

Die Ergebnisse der Messungen sind einer Plausibilitätskontrolle zu unterziehen. Dabei sind ggf. besondere Bedingungen der Anlage und der Messung sowie die Reproduzierbarkeit und Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse zu bewerten. Voraussetzungen, Bewertungsmaßstäbe und Schlussfolgerungen sowie nicht abschließend geprüfte Sachverhalte sind eindeutig anzuführen und ggf. zu begründen. Als Auftragserweiterung war auf dem Gelände der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau die Quarzkonzentration der PM4-Fraktion zu ermitteln.



Abbildung 1: Lage des Standorts im Elbtal

2 Analyse der Emissionsquellen und Festlegung der Probenahmestellen

Die Untersuchungen zu den Emissionsfaktoren für (Fein-)staub aus Bauschuttrecyclinganlagen wurden in drei Messkampagnen über einen Zeitraum von 11 Monaten (Oktober 2008 – September 2009) durchgeführt. Während der erste Messtag der Identifikation der Emissionsquellen, der Festlegung geeigneter Messpunkte und einer ersten orientierenden Messung mit dem Messsystem diente, konnte im Laufe der weiteren Messkampagnen eine breite Datenbasis über die Emission von Feinstaub auf Bauschuttrecyclinganlagen erworben werden.

2.1 Emissionsquellen

Beim Recycling von Bauschutt fallen unter anderem bei der Anlieferung und dem Abladen, dem Verschieben, bei der Aufgabe in den Brecher, dem Brechen des Guts (Abbildung 2) und dem Verladen der Brecherfraktionen Stäube an. Eine gesonderte Ermittlung der Quellstärke einzelner Arbeitsschritte oder Prozesse ist auf Grund der Überlagerung der Emissionen aller Quellen nicht möglich.



Abbildung 2: Anlieferung (links oben), Verschieben des Bauschutts (rechts oben), Staubentwicklung beim Brechen von armierten Betonteilen (Berieselung aus, links unten), Beschickung Brecher (rechts unten)

Im Unterschied zur Messung im Oktober 2008 wurde während Messkampagne 2 auf der Bauschuttrecyclinganlage der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau ein weiterer Brecher (Abbildung 2, rechts unten) mit zugehöriger Siebanlage und Beschickung durch einen Bagger betrieben. Diese Änderungen lassen ein höheres Emissionsaufkommen erwarten, wobei dieses zusätzlich durch Anlieferungsfrequenz, Brecherdurchsatz und Wetterbedingungen bestimmt wird. Während Messkampagne 3 war für das Recycling des Bauschutts der alte Brecher verfügbar, welcher einer neuen Siebmaschine betrieben wurde.

2.2 Probenahmestellen

Bei einer Vorortbesichtigung am 12.05.09 und einer Probemessung am 20.05.09 wurden sieben geeignete Messpunkte (Abbildung 3) festgelegt. Die Messpunkte 1 - 6 wurden mit der mobilen Probenahmeverrichtung viermal pro Messtag angefahren. Am Messpunkt 7 wurden Impaktoren aufgestellt und Temperatur, Feuchte, Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung stationär erfasst.



Abbildung 3: Luftbild des Messorts (Stand 05/2008), Messpunkte der Messkampagne 2 und Messkampagne 3

Messtechnik und Ablauf der Untersuchungen

Für die Ermittlung der Emissionen bei der Aufbereitung von Bauschutt auf dem Gelände der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau kam eine mobile Probenahme- bzw. Messeinrichtung zum Einsatz, welche in weiten Teilen bei der Bestimmung der diffusen Emission eines Asphaltmischwerks erfolgreich eingesetzt wurde. Im Unterschied hierzu wurde die Anzahl der Probenahmehöhen (Messung in 4 bzw. 8 m Höhe) verringert. Abbildung 4 zeigt das Messfahrzeug, das den Anforderungen entsprechend mit der Absaugeinheit und modernster Partikelgrößenmesstechnik ausgerüstet wurde.



Abbildung 4: Messfahrzeug mit Absaugeinheit und Messgeräten zur Partikelgrößenbestimmung

2.3 Mobile Messeinheit

2.3.1 Aufbau der Absaugeinheit

Die Absaugeinheit besteht aus zwei einzelnen Rohren, die in 4 und 8 m Höhe über Grund enden. Die Absaugrohre werden in einem Behälter zusammengeführt, in dessen Mitte über ein Gebläse ein Unterdruck angelegt wird. Der Volumenstrom ist bis zu einem Maximum von 200 m³/h stufenlos einstellbar. In einem Abstand von 500 mm über dem Mischbehälter erlauben Messstutzen die Probenentnahme für die Partikelgrößenbestimmung.

2.3.2 Flugzeitspektrometer APS 3321

Die Bestimmung der Partikelgrößenverteilungen und Anzahlkonzentrationen erfolgte mit dem Flugzeitspektrometer APS 3321 der Fa. TSI Inc. Mittels einer Düse werden die Partikel annähernd auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt und passieren nacheinander zwei polarisierte und fokussierte Laser. Die Zeit, welche ein Partikel zum Passieren dieser Strecke benötigt, wird detektiert und die Geschwindigkeit der Partikel bestimmt. Aufgrund der von der Masse der Partikel abhängigen Träg-

heit werden die Partikel auf unterschiedliche Geschwindigkeiten beschleunigt. Unter Kenntnis der Partikeldichte ist die Berechnung der Massenkonzentrationen möglich.

2.4 Stationär betriebene Messgeräte

In Abhängigkeit vom Aufgabebudget auf der Bauschuttrecyclinganlage wurden die stationär betriebenen Messgeräte einschließlich der Impaktoren 1,5 m östlich oder westlich der Aufgaberinne des alten Brechers (Messpunkt 7, Abbildung 5) aufgestellt und in Betrieb genommen.



Abbildung 5: Messpunkt 7, Standort der stationär betriebenen Messgeräte

2.4.1 Streulichtspektrometer Modell 1.108

Neben der mobilen Messeinheit wurde ein Aerosolspektrometer stationär nahe dem Brecher und der Abladezone installiert, um den zeitlichen Verlauf der Emission zu dokumentieren. Das Aerosolspektrometer Modell 1.108 der Fa. Grimm Aerosol Technik GmbH basiert auf der Streulichtmessung am Einzelpartikel. Die von einem Halbleiterlaser emittierte Strahlung wird von passingenden Partikeln gestreut. Streulicht, das sich senkrecht zur Einfallrichtung ausbreitet, wird über eine Diode detektiert. Nach entsprechender Signalverstärkung werden die Streulichtereignisse verschiedenen Größenklassen zugeordnet.

2.4.2 Impaktoren

Kaskadenimpaktoren bestehen aus mehreren hintereinandergeschalteten Impaktorstufen (Düsen- und Prallplatte). Der Probenluftstrom wird durch die Düsen beschleunigt und oberhalb der Prallplatten umgelenkt. Sind die Partikel auf Grund ihrer Trägheit nicht in der Lage den Stromlinien zu folgen, werden sie abgeschieden. In nachfolgenden Stufen nimmt die Strömungsgeschwindigkeit

schrittweise zu, sodass nacheinander Partikel abnehmender Trägheit abgeschieden werden [VDI 2066 Blatt 5].

Zur Bestimmung der PM4-Quarzkonzentration der emittierten Stäube wurde ein modifizierter GMU-Kaskadenimpaktor Johnas II (Fabrikat Gothe, Bochum) eingesetzt. Die Modifikation betrifft hierbei den Austausch der regulär verwendeten PM2.5- durch eine PM4-Probenahmestufe, wodurch die direkte Ermittlung der PM10- und PM4-Fraktion möglich wird. Die röntgenografische Analytik des auf Cellulosenitratfiltern abgeschiedenen Feinstaubes erfolgte im Anschluss am Institut für Gefahrstoff-Forschung der Bergbau-Berufsgenossenschaft an der Ruhr-Universität Bochum. Die massenbezogenen Partikelgrößenverteilungen wurden mit einem AERAS-Niederdruckimpaktor der Fa. Haucke Ges.m.b.H. & Co KG bestimmt, welcher ebenfalls stationär an Messpunkt 7 betrieben wurde.

2.4.3 Feuchte, Temperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit

Neben den beschriebenen Geräten wurden am Messpunkt 7 ein ESAYLOG 24RFT der Fa. Greisinger electronic GmbH zur kontinuierlichen Erfassung von relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur sowie ein Windcap® Ultraschall-Windsensor WMT52 der Fa. Vaisala Oyj zur Erfassung von Windgeschwindigkeit und -richtung betrieben.

2.5 Ablauf der Untersuchungen

In Vorbereitung der Messkampagnen wurde der Aufbau der Messeinrichtung zunächst im ILK Dresden erprobt. Dazu wurde die Funktionsweise der Partikel-Messtechnik und des Gesamtsystems überprüft, insbesondere die Absauggeschwindigkeit in den Probenahme-Rohren, die Luftvolumenströme in den Partikelzählern und die Funktion der Messwerterfassungseinrichtung. Es konnte festgestellt werden, dass eine einwandfreie Funktion des Messsystems vorliegt. Die Partikel-Messgeräte waren zuvor werksseitig kalibriert worden. Die Zertifikate sind dem Anhang beigelegt (Abbildung 102). Nach Anschluss der Geräte vor Ort wurde deren Funktionsweise, vor allem die Einhaltung der Absauggeschwindigkeiten, nochmals kontrolliert.

Zu Beginn jedes Messtags erfolgte die Inbetriebnahme der stationären Messgeräte einschließlich der Impaktoren am Messpunkt 7. Danach wurden die Messpunkte 1 - 6 hintereinander viermal mit der mobilen Messeinheit angefahren und die Partikelkonzentrationen in den zwei Probenahmehöhen bestimmt.

3 Messergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse bezüglich der Umgebungsbedingungen, der Staubkonzentrationen und der Partikelgrößenverteilungen vorgestellt. Die Darstellung der mit dem Flugzeitspektrometer ermittelten Partikelgrößenverteilungen beschränkt sich auf jeweils zwei Verteilungen, die exemplarisch Messsituationen hoher und durchschnittlicher Staubbelastung zeigen. Eine vollständige Darstellung der Messergebnisse ist im Anhang dargestellt (12.7).

3.1 Messkampagne 1

07.10.2008

Die durchschnittliche Temperatur betrug ca. 18 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 64 % (Abbildung 6) und einem barometrischen Druck von 999 mbar. Durch das am Messpunkt 7 stationär betriebene Laseraerosolspektrometer Grimm 1.108 wurde ein Gasvolumen von 0,333 m³ analysiert. Auf dem Gravimetriefilter, das als Sammelfilter dient und zur gravimetrischen Kontrolle der optisch gewonnen Messergebnisse verwendet werden kann [Grimm], wurde eine Staubmasse von 272 µg abgeschieden. Anhand dieser Daten ergibt sich für den Untersuchungszeitraum, einschließlich Pausen und Zeiten verminderten Durchsatzes, eine mittlere Staubkonzentration von 1,03 mg/m³.



Laseraerosolspektrometer 1.108	
Staubmasse	272 µg
Anzeige	344,4 g
Luftvolumen	0,333 m ³
Gravimetriefaktor	0,8
Mittlere Konzentration	1,03 mg/m ³

Abbildung 6: (07.10.2008) Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit (links), Auswertung Laseraerosolspektrometer Grimm 1.108 (rechts)

Unter Berücksichtigung des Gravimetriefaktors ergibt sich der in Abbildung 7 bzw. Abbildung 8 gezeigte Verlauf der Staubkonzentration am Brecher (Dieselaggregat in Betrieb, daher Anteil an Russpartikeln zu erwarten). Die in Abbildung 7 dargestellten Markierungen symbolisieren

- orange: Anlieferung von Bauschutt
- grün: Verschiebung von Schutt mittels Radlader
- violett: Beschickung des Brechers

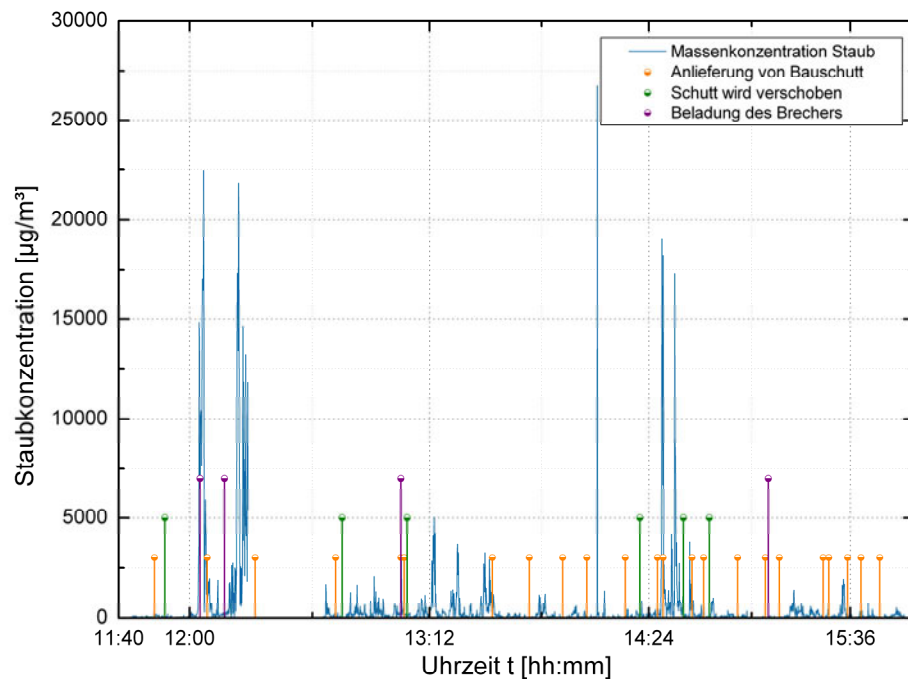


Abbildung 7: Staubkonzentration im Untersuchungszeitraum, Laseraerosolspektrometer Grimm 1.108

Abbildung 8 zeigt neben dem Verlauf der Staubmassenkonzentration bei Brecherbetrieb die Hintergrundbelastung (grün) auf der Recyclinganlage, die etwa um den Faktor 20 niedriger liegt als die Staubkonzentration während des Betriebs der Anlage. Des Weiteren erlaubt die Darstellung den Vergleich zwischen Betrieb mit Befeuchtung und ohne Befeuchtung des Brechguts.

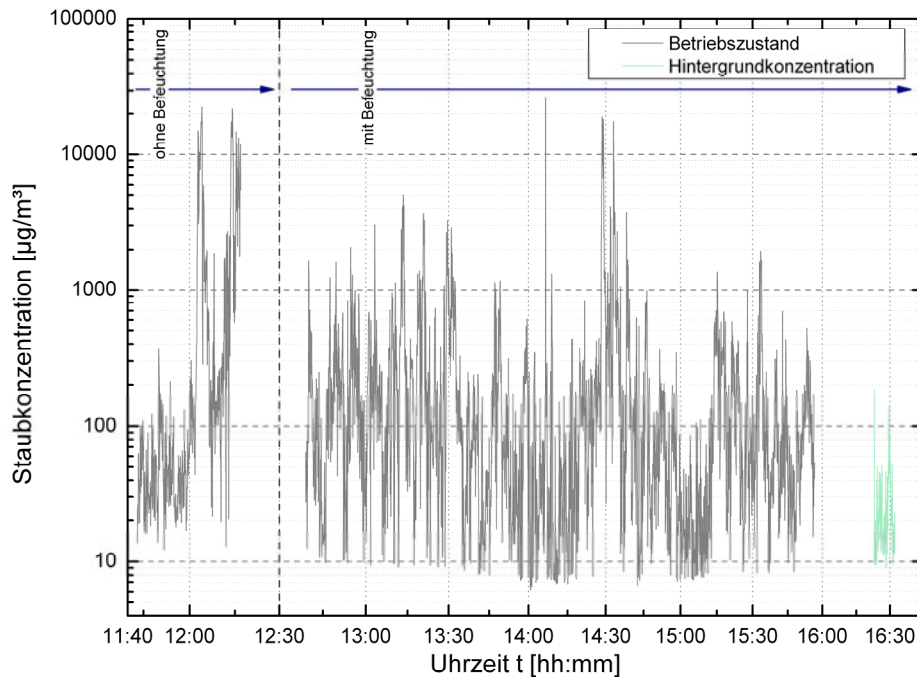


Abbildung 8: Staubkonzentration im Untersuchungszeitraum, Laseraerosolspektrometer Grimm 1.108

Abbildung 9 zeigt die aus den Daten des Aerosolspektrometers ermittelten Verteilungssummen des luftgetragenen Staubs. Die Untersuchungen der ersten Messkampagne lassen hierbei die Unterscheidung von drei Betriebszuständen zu. Von 11:30 - 12:05 Uhr war das Dieselaggregat am Brecher in Betrieb, LKWs wurden be- und entladen, Schutt wurde auf dem Platz verschoben und ab 12:03 Uhr wurde der Brecher ohne Berieselung des Brecherguts betrieben (blaue Kurve). Von 12:30 - 15:45 Uhr erfolgten die Arbeiten auf dem Recyclinghof im Normalbetrieb mit einer Berieselung des Brecherguts (rote Kurve). Die Mengenanteile der Partikel, welche die Hintergrundbelastung auf dem Recyclinghof darstellen, zeigt die orangefarbene Verteilungssumme. Entsprechend der Datenlage resultiert aus der Aktivierung der Berieselung des Brecherguts eine Verschiebung des mittleren Partikeldurchmessers von $9,8 \mu\text{m}$ auf $8,2 \mu\text{m}$, während in der Umgebungsluft (ohne Brecherbetrieb, Anlieferung und Verschiebung von Schutt) Partikel mit einer mittleren Partikelgröße von $3,7 \mu\text{m}$ vorgefunden werden.

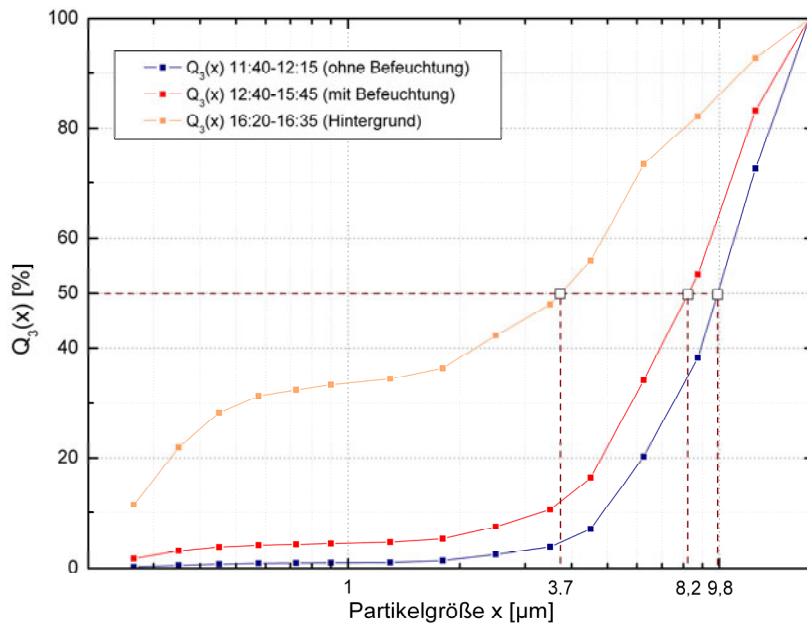


Abbildung 9: Summenverteilungen in Abhängigkeit vom Betriebszustand auf der Bau-schuttrecyclinganlage (Laseraerosolspektrometer)

Während der gesamten Messzeit wurde mittels eines AERAS-Niederdruckimpaktors eine Probe-nahme durchgeführt. Nachfolgend ist die gravimetrisch ermittelte Massenverteilung dargestellt. Der mittlere Partikeldurchmesser liegt demnach bei $8,4 \mu\text{m}$.

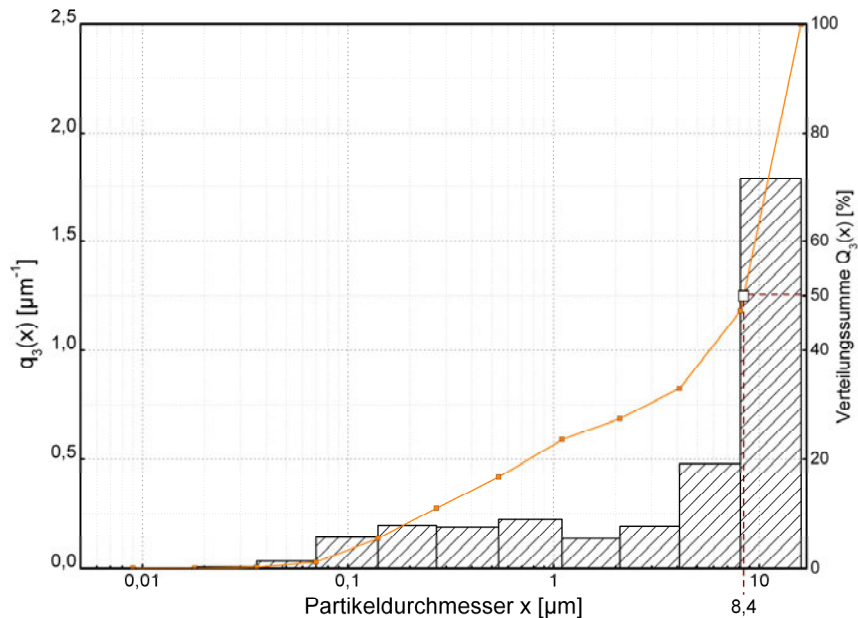


Abbildung 10: (07.10.2008) Verteilungssumme $Q_3(x)$ und Verteilungsdichte $q_3(x)$

Im Lauf der ersten Kampagne wurden sechs Messpunkte [ILK 2009] in drei Runden mit der mobilen Messeinrichtung angefahren und jeweils sechs bis acht Messungen in den Höhen 4 und 8 m durchgeführt. Auf Grund anhaltender Windstille wurden im Vergleich zu den folgenden Kampagnen hohe Anzahlkonzentrationen für die luftgetragenen Partikel ermittelt. Abbildung 11 zeigt exemplarisch die Konzentrationshöhe und die Lage des Maximums der Partikelgrößenverteilungen während der Messkampagne 1.

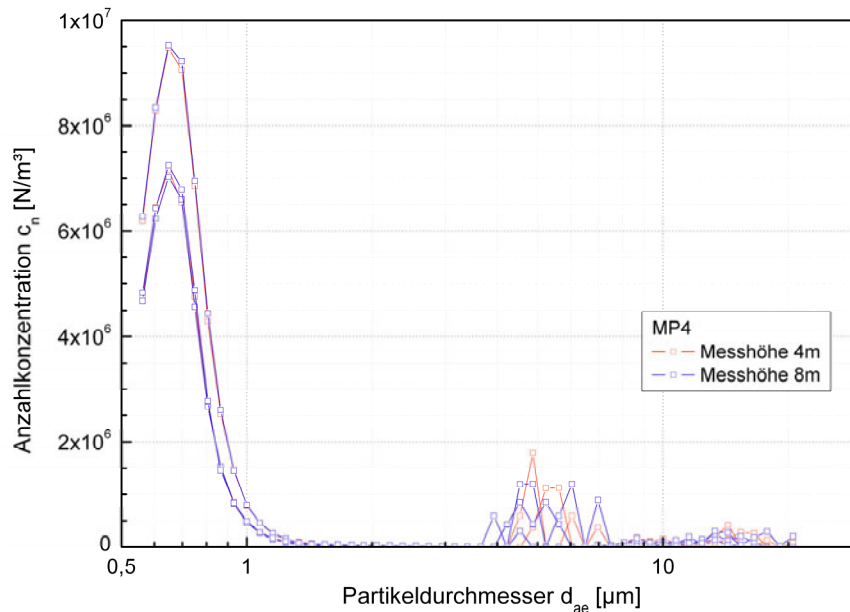


Abbildung 11: (07.10.2008) Partikelkonzentration Messpunkt 4

Im Rahmen der ersten Messkampagne konnte gezeigt werden, dass mit der gewählten Messmethodik die Bestimmung der Emission bei Anlieferung und Verarbeitung von Bauschutt möglich ist. Dabei wurde zunächst ein Konzept zur Messdurchführung festgelegt. Auf Grund der räumlichen Gegebenheiten wurden die Punkte so gewählt, dass die räumliche Entfernung zur Entstehungsstelle der Stäube möglichst klein ist und die Punkte mittels Messfahrzeug reproduzierbar und in kurzer Aufeinanderfolge aufgesucht werden können. Bei der Messkampagne herrschte fast Windstille vor, sodass Wind- und Verwehungseffekte nicht festgestellt werden konnten. Es zeigte sich, dass sich die durch die Bauschuttrecyclinganlage emittierten Stäube deutlich und signifikant von der Hintergrundbelastung abheben. Dies betrifft sowohl die Partikelgrößenverteilung als auch die absolute Konzentration.

3.2 Messkampagne 2

Während der Messungen im Zeitraum vom 27.05.2009 – 04.06.2009 wurde ein weiterer Brecher mit zugehöriger Siebmaschine auf der Bauschuttrecyclinganlage betrieben. Der Standort des Brechers ist in Abbildung 3 verzeichnet.

Messung am 27.05.2009

Die durchschnittliche Temperatur betrug am 27.05.2009 ca. 20 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 45 % und einem barometrischen Druck von 1.011 mbar. Die mittlere Windgeschwindigkeit wurde zu $3,82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt. Am Messtag wurde Ziegelschutt aufbereitet. Anhand des Verlaufs der Staubmassenkonzentration (Abbildung 13) sind Rückschlüsse auf die Arbeitsaktivität möglich:

- 12:30 - 13:00 Uhr Mittagspause
- ab 14:03 Uhr kein Brecher aktiv

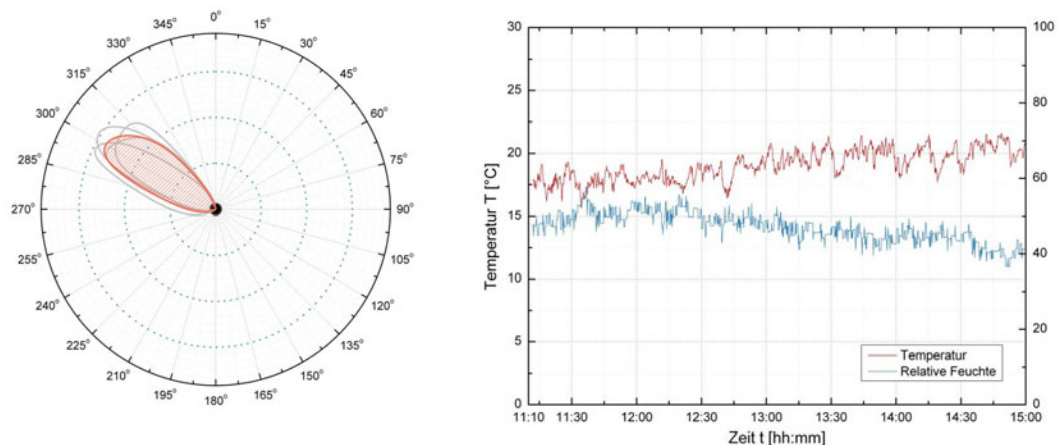


Abbildung 12: (27.05.2009) links: Hauptwindrichtung Nord-West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Im Untersuchungszeitraum (11:12 – 14:52 Uhr) wurde mit einem Berner Niederdruckimpaktor eine Probenahme durchgeführt. Nachfolgend ist die gravimetrisch ermittelte Massenverteilung dargestellt. Der mittlere Partikeldurchmesser liegt demnach bei $8,5 \mu\text{m}$. Daneben wurde über den 1. und 2. Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,27 \text{ mg}/\text{m}^3$ ermittelt.

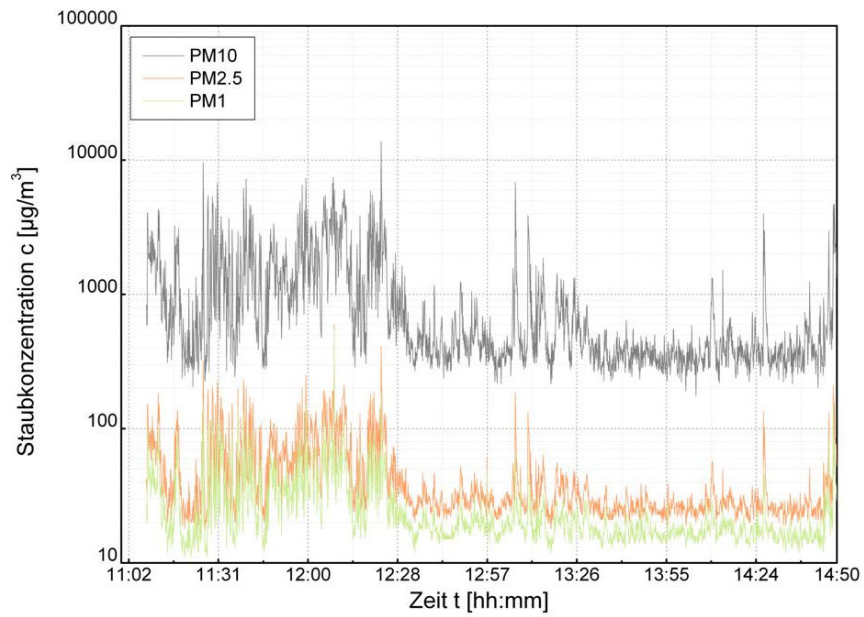


Abbildung 13: (27.05.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)

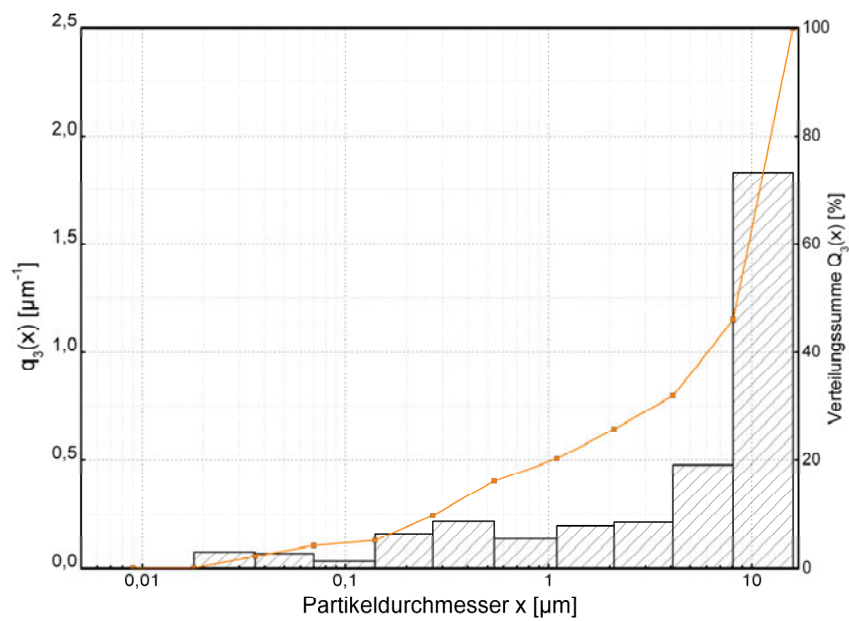


Abbildung 14: (27.05.2009) Verteilungssumme $Q_3(x)$ und Verteilungsdichte $q_3(x)$

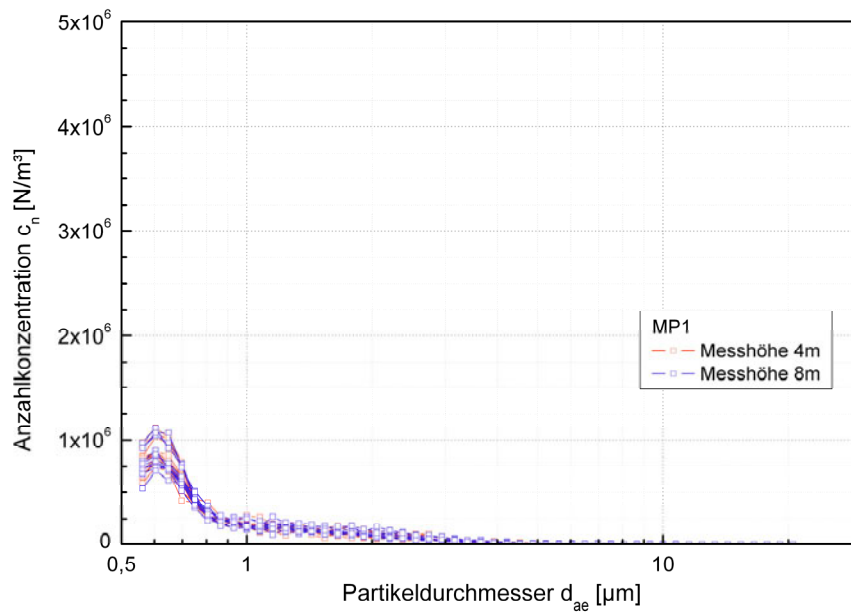


Abbildung 15: (27.05.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration

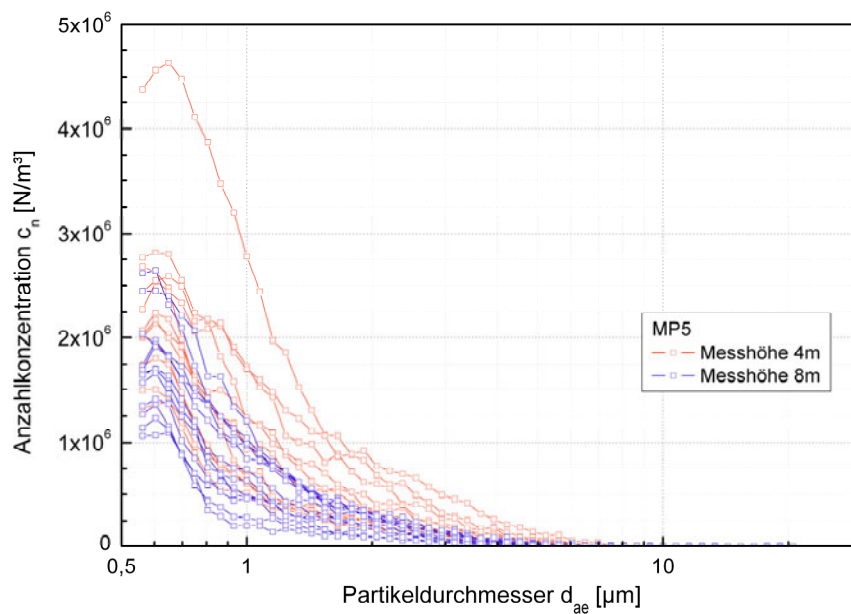


Abbildung 16: (27.05.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration

Bestimmung der Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Im Untersuchungszeitraum (11:12 – 14:52 Uhr) wurden mit dem Johnas II-Kaskadenimpaktor die PM10-Konzentration zu 0,19 mg/m³ und die PM4-Konzentration zu 0,17 mg/m³ bestimmt. Die röntgenografische Analyse erbrachte eine PM10-Quarzkonzentration von 26,48 µg/m³ bzw. eine PM4-

Quarzkonzentration von $23,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daneben wurde über den 1. und 2. Messtag mit dem Laser-aerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,27 \text{ mg}/\text{m}^3$ ermittelt.

Tabelle 1: (27.05.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Emissionskonzentration	Kaskadenimpaktor Johnas II	Kaskadenimpaktor Johnas II Quarzkonzentration	Aerosolspektrometer Grimm 1.1.06
Gesamtstaub	-	-	$0,27 \text{ mg}/\text{m}^3$
PM10	$0,19 \text{ mg}/\text{m}^3$	$26,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM4	$0,17 \text{ mg}/\text{m}^3$	$23,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

28.05.2009

Die durchschnittliche Temperatur betrug bei bedecktem Himmel ca. 16°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 % und einem barometrischen Druck von 1.009 mbar. Die mittlere Windgeschwindigkeit wurde zu $3,79 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt. Am Messtag wurde Ziegelschutt aufbereitet. Anhand des Verlaufs der Staubmassenkonzentration (Abbildung 18) wird der Einfluss des starken Regens auf die Gesamtstaubkonzentration ersichtlich:

- 12:30 - 13:00 Uhr Mittagspause
- ab 13:21 Uhr kein Brecher aktiv
- ab 13:41 Uhr ein Brecher aktiv
- ab 14:20 Uhr starker Regen

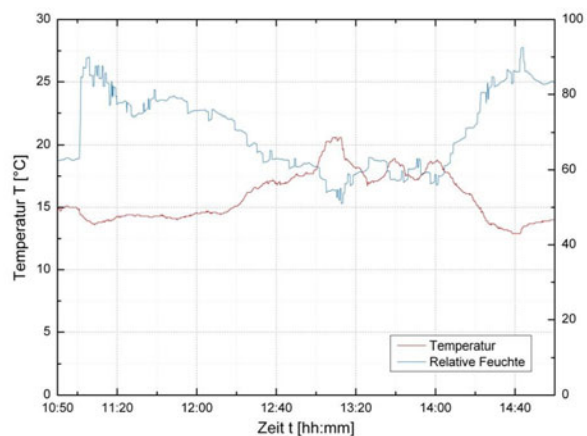
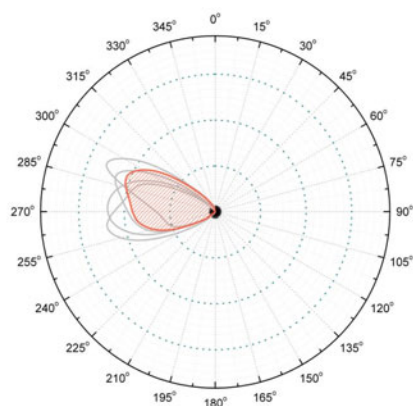


Abbildung 17: (28.05.2009) links: Hauptwindrichtung West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Im Untersuchungszeitraum (10:50 – 15:01 Uhr) wurde mit dem Berner Niederdruckimpaktor eine Probenahme durchgeführt. Nachfolgend ist die gravimetrisch ermittelte Massenverteilung dargestellt. Der mittlere Partikeldurchmesser liegt demnach bei $4,8 \mu\text{m}$. Daneben wurde über den 1. und

2. Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,27 \text{ mg/m}^3$ ermittelt.

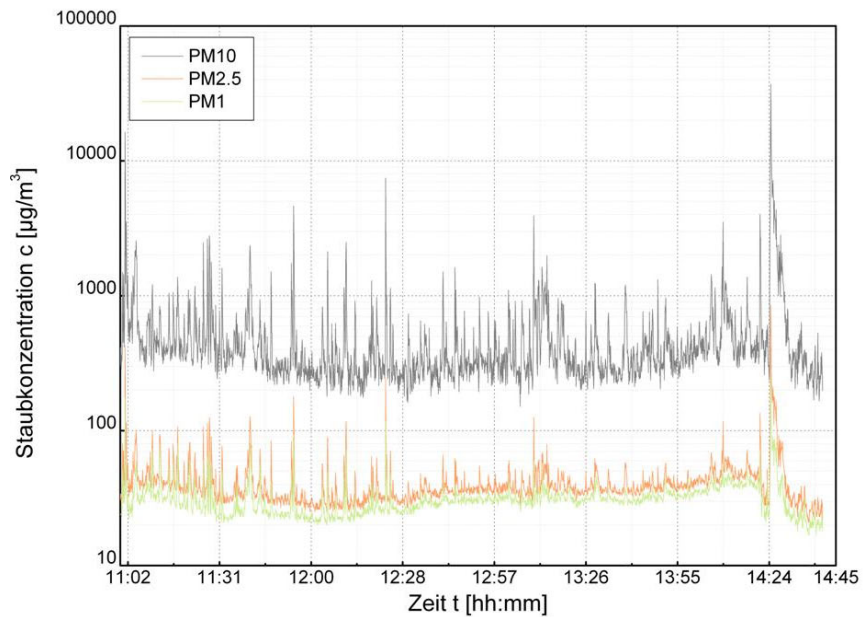


Abbildung 18: (28.05.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)

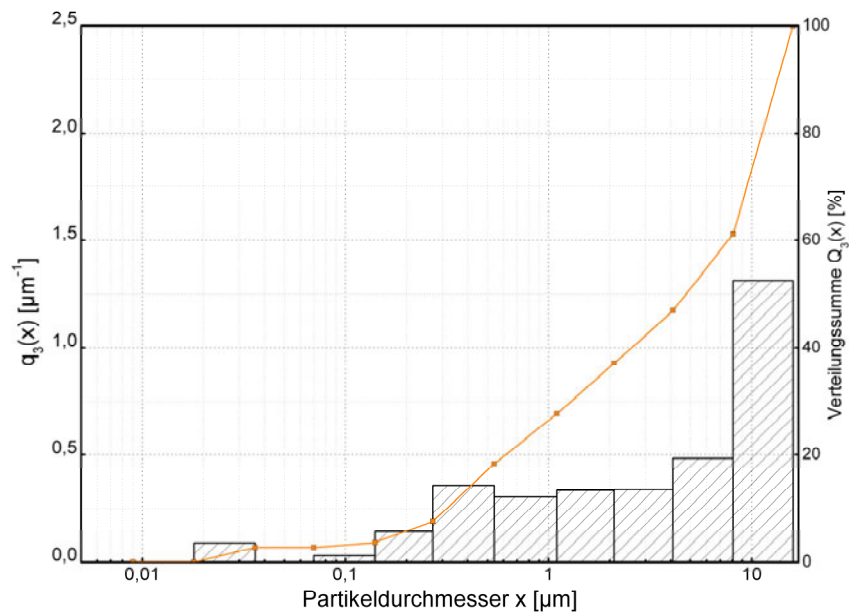


Abbildung 19: (28.05.2009) Verteilungssumme $Q_3(x)$ und Verteilungsdichte $q_3(x)$

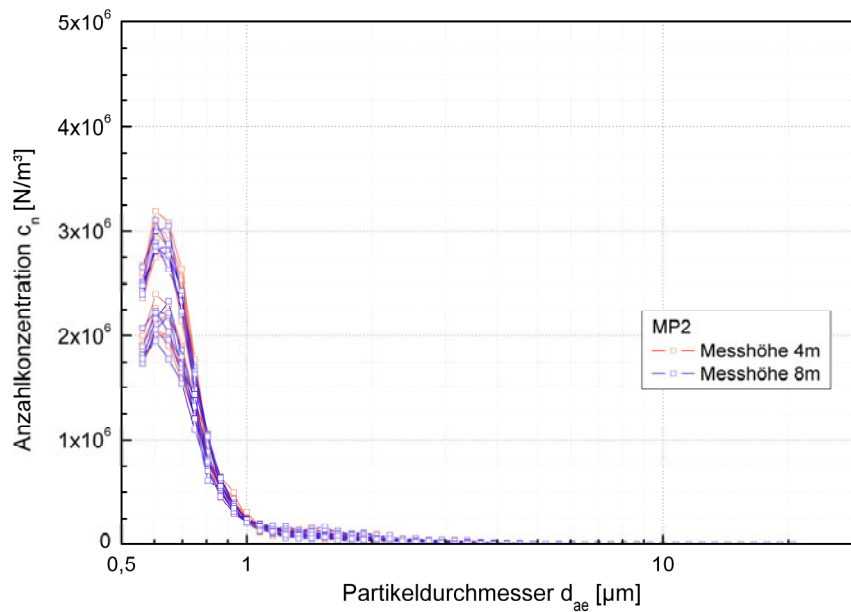


Abbildung 20: (28.05.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration

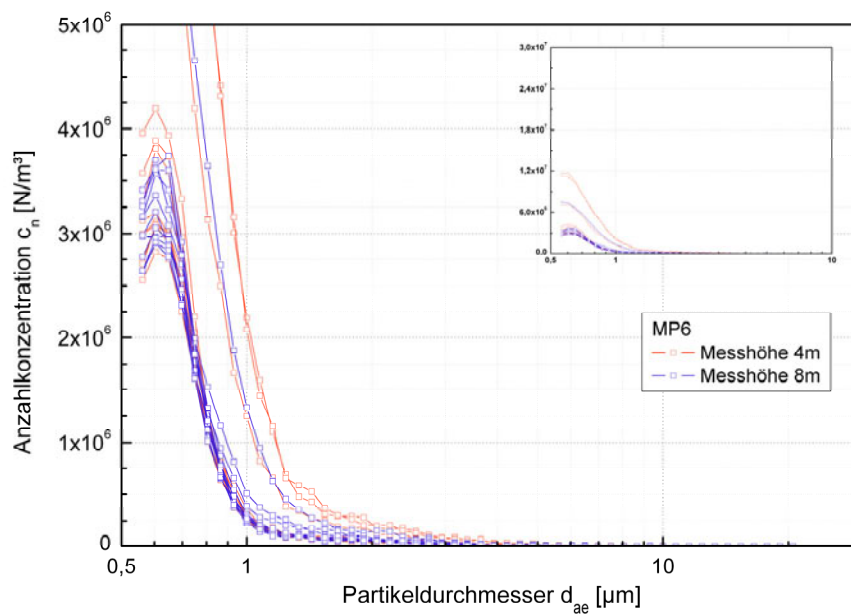


Abbildung 21: (28.05.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration

Bestimmung der Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Im Untersuchungszeitraum (10:50 – 15:01 Uhr) wurden mit dem Johnas II-Kaskadenimpaktor die PM10-Konzentration zu 0,6 mg/m³ und die PM4-Konzentration zu 0,36 mg/m³ bestimmt. Die röntgenografische Analyse erbrachte eine PM10-Quarzkonzentration von 3,74 µg/m³ bzw. eine PM4-

Quarzkonzentration von $2,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daneben wurde über den 1. und 2. Messtag mit dem Laser-aerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,27 \text{ mg}/\text{m}^3$ ermittelt.

Tabelle 2: (28.05.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Emissionskonzentration	Kaskadenimpaktor Johnas II	Kaskadenimpaktor Johnas II Quarzkonzentration	Aerosolspektrometer Grimm 1.1.06
Gesamtstaub	-	-	$0,27 \text{ mg}/\text{m}^3$
PM10	$0,60 \text{ mg}/\text{m}^3$	$3,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM4	$0,36 \text{ mg}/\text{m}^3$	$2,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

03.06.2009

Die durchschnittliche Temperatur betrug bei bedecktem Himmel ca. 14°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 57 % und einem barometrischen Druck von 1.003 mbar. Die mittlere Windgeschwindigkeit wurde zu $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt. Es wurde eine vermehrte Abholung bei reduzierter Brechertätigkeit beobachtet. Am Messtag wurde Betonrecycling hergestellt. Anhand des Verlaufs der Staubmassenkonzentration (Abbildung 23) sind Rückschlüsse auf die Arbeitsaktivität möglich:

- 11:22 - 11:47 Uhr Umsetzung des neuen Brechers
- ab 12:12 Uhr beide Brecher aktiv
- 12:40 - 13:16 Uhr Mittagspause
- 13:17 – 14:05 Uhr neuer Brecher aktiv
- 14:05 - 14:23 Uhr kein Brecher aktiv
- ab 14:23 Uhr alter Brecher aktiv ohne Beschickung

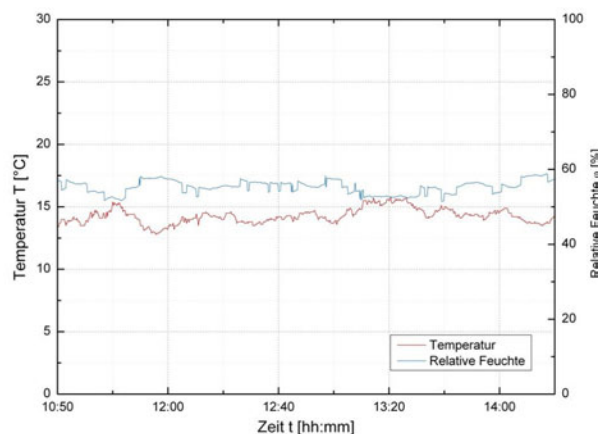
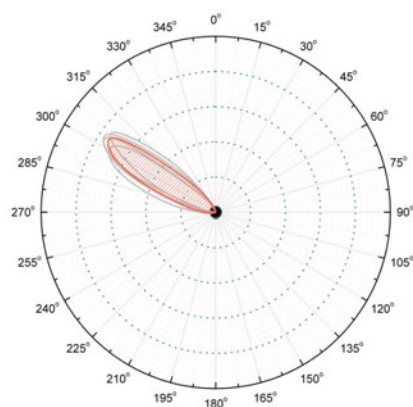


Abbildung 22: (03.06.2009) links: Hauptwindrichtung Nord-West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Im Untersuchungszeitraum (11:00 – 15:00 Uhr) wurde mit einem Berner Kaskadenimpaktor eine Probenahme durchgeführt. Nachfolgend ist die gravimetrisch ermittelte Massenverteilung dargestellt. Der mittlere Partikeldurchmesser liegt demnach bei $5,0\ \mu\text{m}$. Daneben wurde über den 3. und 4. Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,36\ \text{mg}/\text{m}^3$ ermittelt.

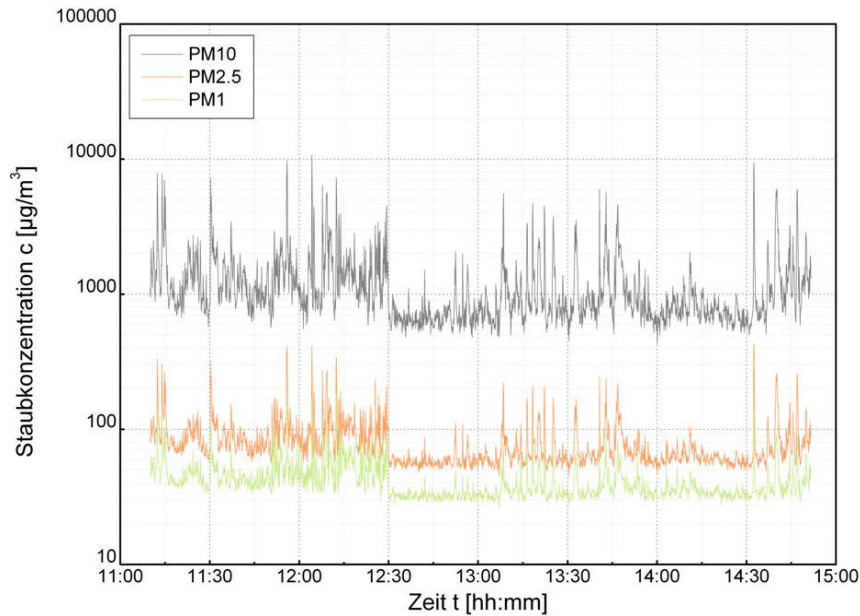


Abbildung 23: (03.06.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)

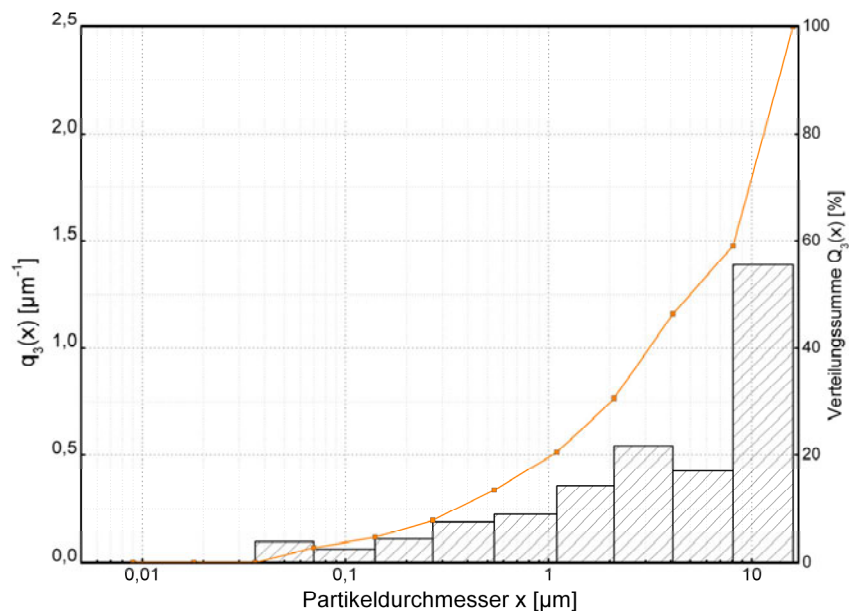


Abbildung 24: (03.06.2009) Verteilungssumme $Q_3(x)$ und Verteilungsdichte $q_3(x)$

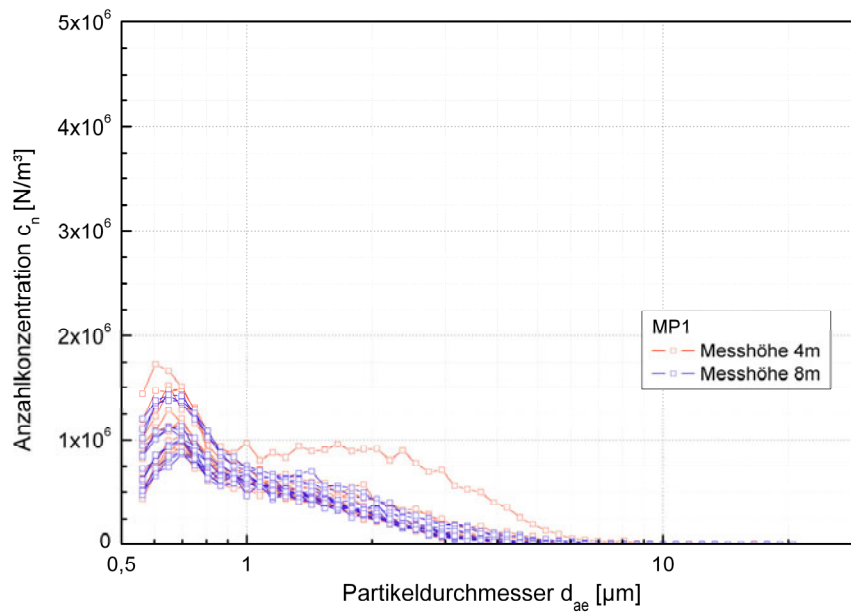


Abbildung 25: (03.06.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration

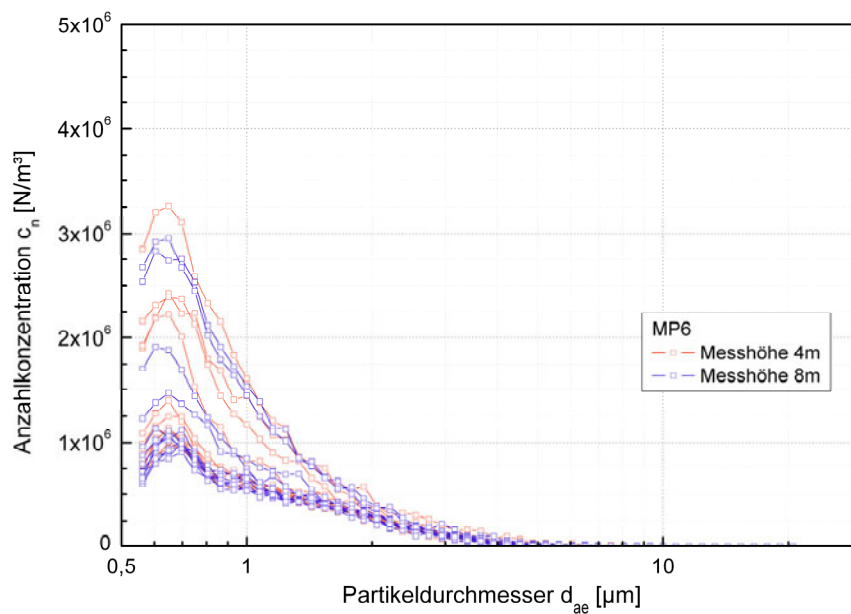


Abbildung 26: (03.06.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration

Bestimmung der Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Im Untersuchungszeitraum (11:00 – 15:00 Uhr) wurden mit dem Johnas II-Kaskadenimpaktor die PM10-Konzentration zu 0,22 mg/m³ und die PM4-Konzentration zu 0,16 mg/m³ bestimmt. Die röntgenografische Analyse erbrachte eine PM10-Quarzkonzentration von 16,59 µg/m³ bzw. eine PM4-

Quarzkonzentration von $14,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daneben wurde über den 3. und 4. Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,36 \text{ mg}/\text{m}^3$ ermittelt.

Tabelle 3: (03.06.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Emissionskonzentration	Kaskadenimpaktor Johnas II	Kaskadenimpaktor Johnas II Quarzkonzentration	Aerosolspektrometer Grimm 1.1.06
Gesamtstaub	-	-	$0,36 \text{ mg}/\text{m}^3$
PM10	$0,22 \text{ mg}/\text{m}^3$	$16,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM4	$0,16 \text{ mg}/\text{m}^3$	$14,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

04.06.2009

Die durchschnittliche Temperatur betrug ca. 14°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 47 % und einem barometrischen Druck von 1.001 mbar. Die mittlere Windgeschwindigkeit wurde zu $3,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt. Am Messtag wurde Betonrecycling hergestellt. Rückschlüsse auf die Arbeitsaktivität sind anhand des Verlaufs der Staubmassenkonzentration (Abbildung 28) nicht möglich:

- 11:17 - 12:46 Uhr beide Brecher aktiv
- 13:45 – 15:00 Uhr beide Brecher und ein Bagger aktiv

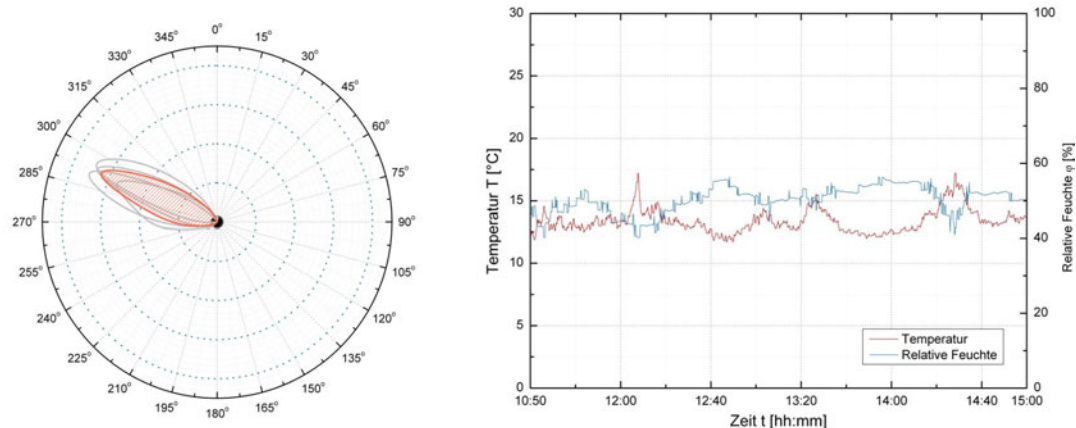


Abbildung 27: (04.06.2009) links: Hauptwindrichtung Nord-West (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Im Untersuchungszeitraum (11:03 – 15:20 Uhr) wurde mit einem Berner Kaskadenimpaktor eine Probenahme durchgeführt. Nachfolgend ist die gravimetrisch ermittelte Massenverteilung dargestellt. Der mittlere Partikeldurchmesser liegt demnach bei $8,2 \mu\text{m}$. Daneben wurde über den 3. und 4. Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,36 \text{ mg}/\text{m}^3$ ermittelt.

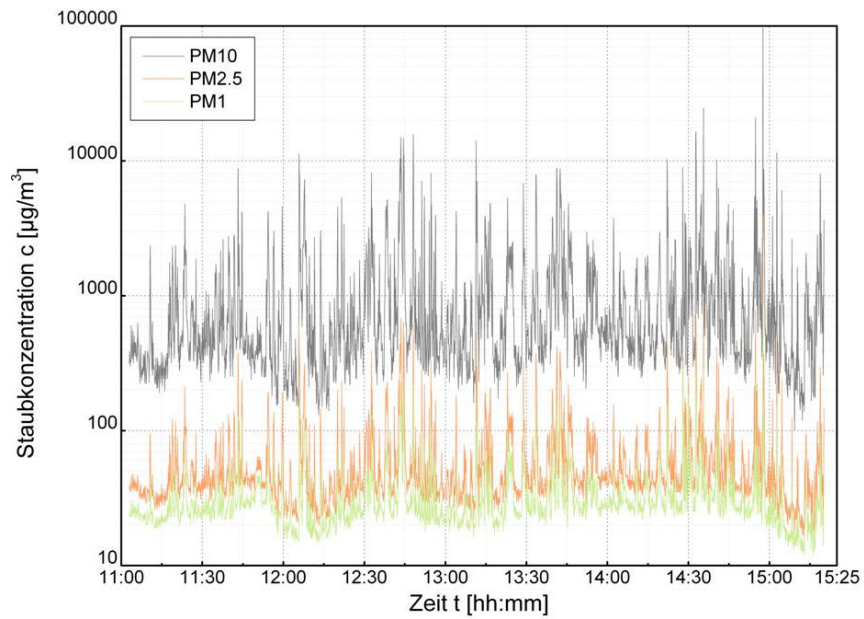


Abbildung 28: (04.06.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)

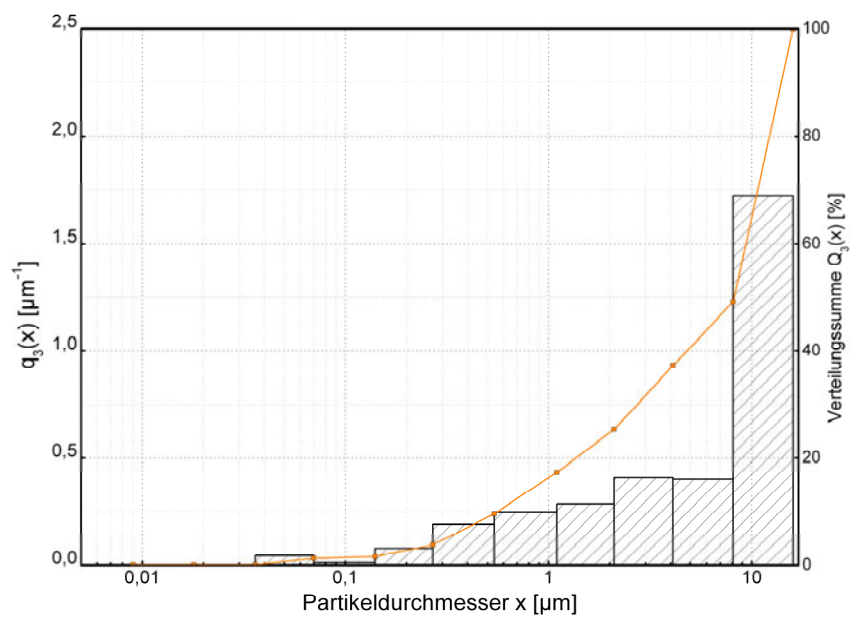


Abbildung 29: (04.06.2009) Verteilungssumme $Q_3(x)$ und Verteilungsdichte $q_3(x)$

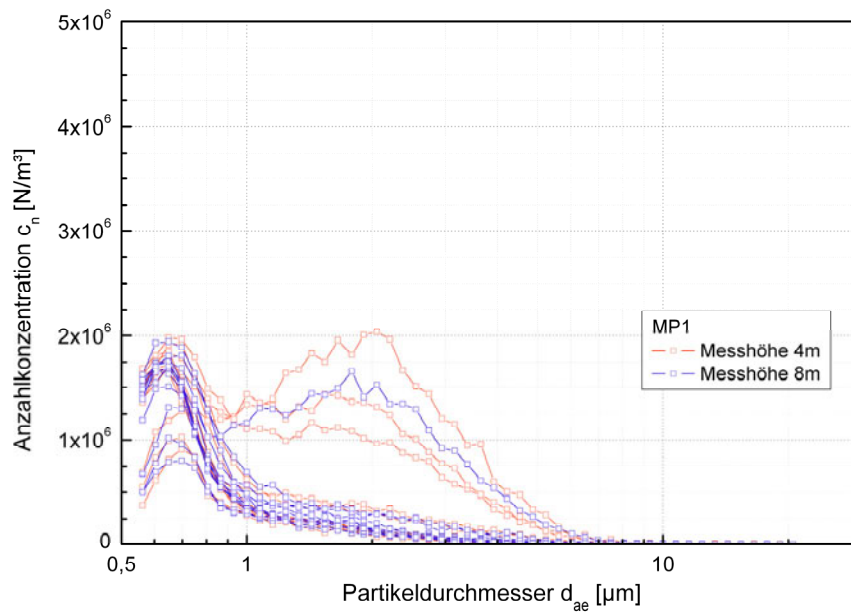


Abbildung 30: (04.06.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration

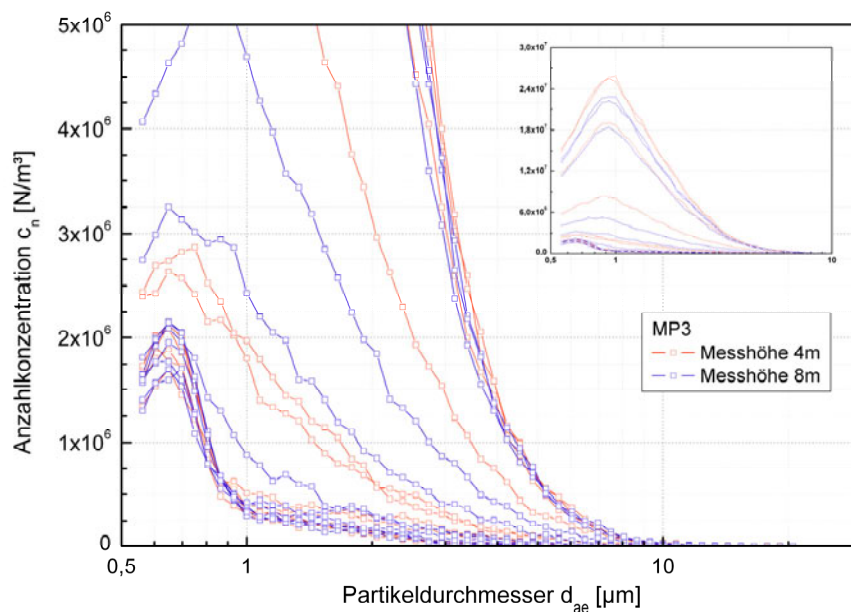


Abbildung 31: (04.06.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration

Bestimmung der Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Im Untersuchungszeitraum (11:03 – 15:20 Uhr) wurden mit dem Johnas II-Kaskadenimpaktor die PM10-Konzentration zu 0,28 mg/m³ und die PM4-Konzentration zu 0,18 mg/m³ bestimmt. Die röntgenografische Analyse erbrachte eine PM10-Quarzkonzentration von 4,33 µg/m³ bzw. eine PM4-

Quarzkonzentration von $3,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daneben wurde über den 3. und 4. Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von $0,36 \text{ mg}/\text{m}^3$ ermittelt.

Tabelle 4: (04.06.2009) Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Emissionskonzentration	Kaskadenimpaktor Johnas II	Kaskadenimpaktor Johnas II Quarzkonzentration	Aerosolspektrometer Grimm 1.1.06
Gesamtstaub	-	-	$0,36 \text{ mg}/\text{m}^3$
PM10	$0,28 \text{ mg}/\text{m}^3$	$4,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM4	$0,18 \text{ mg}/\text{m}^3$	$3,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

3.3 Messkampagne 3

Im Unterschied zu der vorangegangenen Messkampagne wurde im Untersuchungszeitraum der Messkampagne 3 der alte Brecher mit einer neuen Siebmaschine betrieben (Abbildung 32).



Abbildung 32: Brecher mit neuer Siebmaschine, Messkampagne 3

25.08.2009

Die durchschnittliche Temperatur betrug ca. 29°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 44 % und einem barometrischen Druck von 999 mbar. Bei starkem Wind war es am Messtag durchgehend sonnig. Die mittlere Windgeschwindigkeit wurde zu $3,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt. Rückschlüsse auf die Arbeitsaktivität sind anhand des Verlaufs der Staubmassenkonzentration (Abbildung 34) nicht möglich:

- 11:07 - 11:52 Uhr Brecher und Siebanlage aktiv
- 12:00 – 13:49 Uhr Mittagspause und Umbau der Siebanlage
- 13:50 – 15:26 Uhr Brecher und Siebanlage aktiv

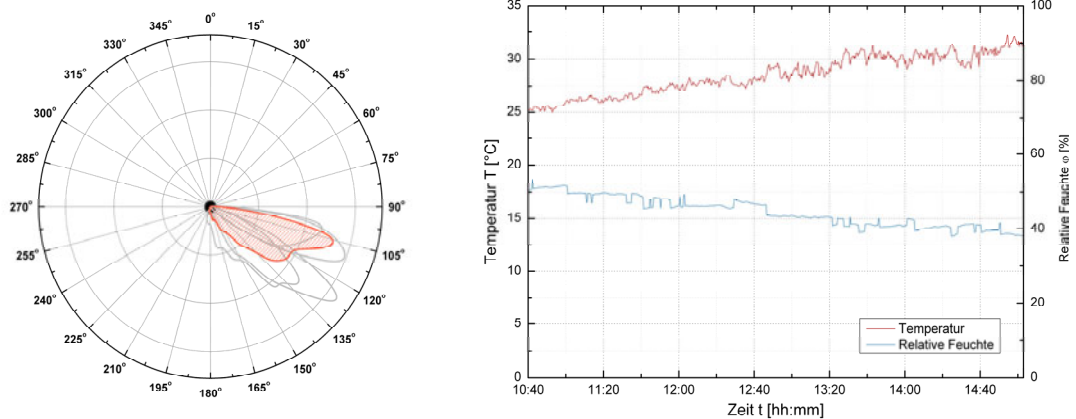


Abbildung 33: (25.08.2009) links: Hauptwindrichtung Süd-Ost (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Im Untersuchungszeitraum (10:35 – 15:25 Uhr) wurde mit einem Berner Kaskadenimpaktor eine Probenahme durchgeführt. Nachfolgend ist die gravimetrisch ermittelte Massenverteilung dargestellt. Der mittlere Partikeldurchmesser liegt demnach bei 10,0 μm . Daneben wurde am Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von 2,06 mg/m^3 ermittelt.

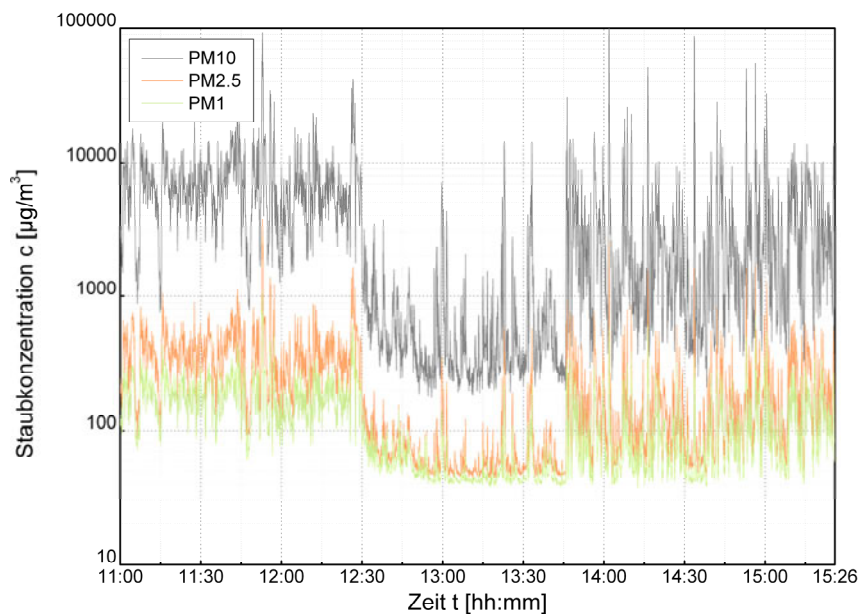


Abbildung 34: (25.08.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)

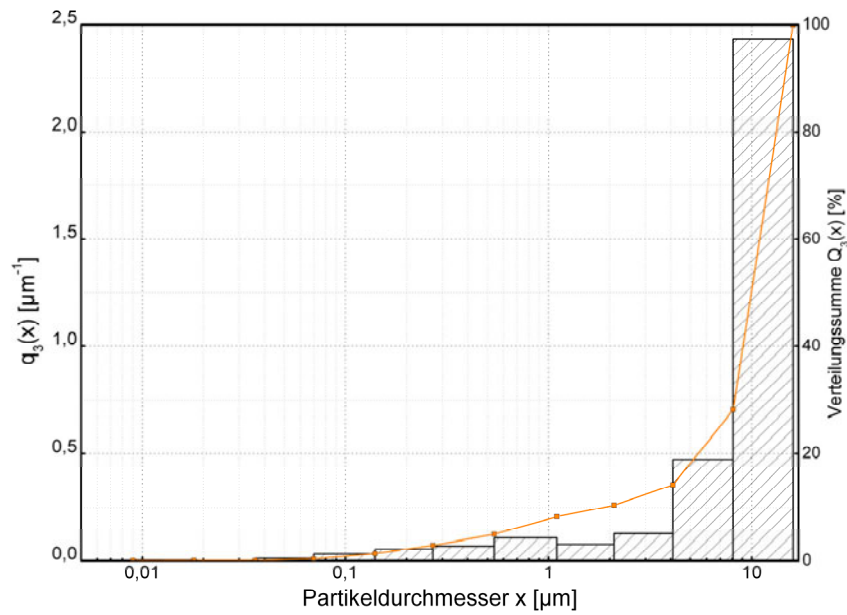


Abbildung 35: (25.08.2009) Verteilungssumme $Q_3(x)$ und Verteilungsdichte $q_3(x)$

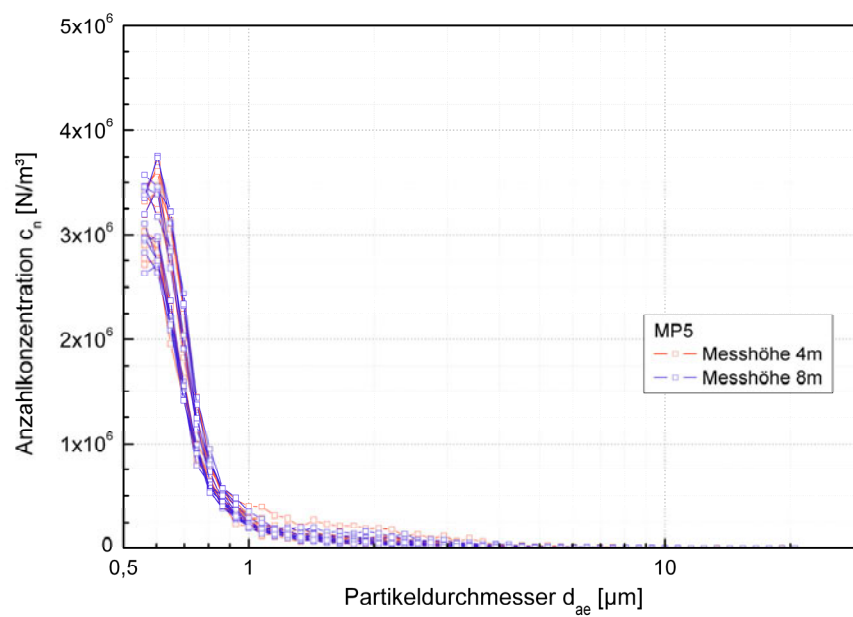


Abbildung 36: (25.08.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration

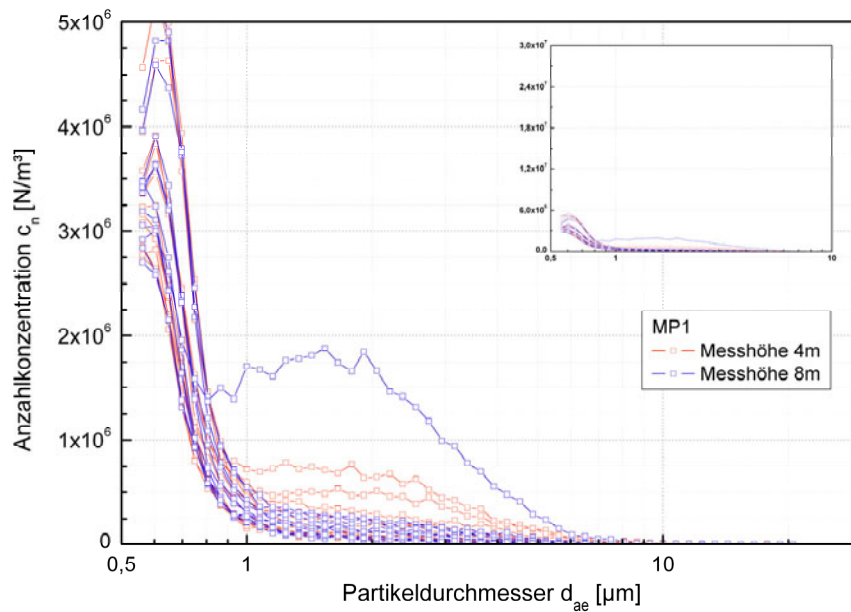


Abbildung 37: (25.08.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration

Messung zur Bestimmung der maximalen Staubbelastung

Am 01.09.2009 wurde, wie mit der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau und dem Landratsamt Sächsische Schweiz-Osterzgebirge vereinbart, auf die Bewässerung der Fahrwege verzichtet, um Aussagen zur maximalen Emissionskonzentration zu erhalten (Abbildung 38). Auf die Bewässerung des Brecherguts konnte nicht verzichtet werden, da diese für die Vermarktung des recycelten Materials erforderlich ist. Die durchschnittliche Temperatur betrug an diesem Tag ca. 29 °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40 % und einem barometrischen Druck von 1.003 mbar. Die mittlere Windgeschwindigkeit wurde zu $3,99 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt.



Abbildung 38: Staubentwicklung bei Verzicht auf die Bewässerung der Fahrwege

Anhand des Verlaufs der Staubmassenkonzentration (Abbildung 40) während der Messungen sind keine Rückschlüsse auf die Arbeitsaktivität möglich:

- 11:25 – 11:38 Uhr Brecher nicht aktiv
- 12:37 – 13:00 Uhr Pause
- 13:47 – 15:12 Uhr Brecher und Lader aktiv, zusätzlich Brechen von Laternenmasten

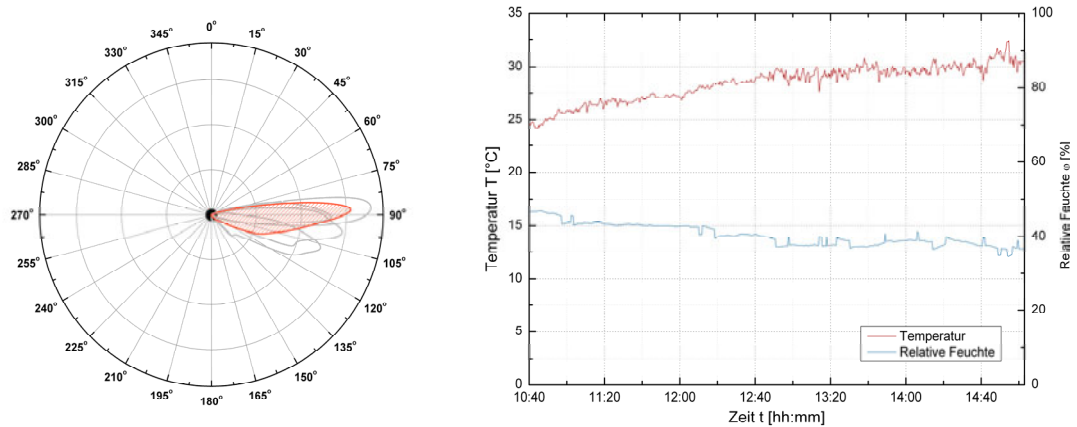


Abbildung 39: (01.09.2009) links: Hauptwindrichtung Ost (orangefarbene Linie), rechts: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Im Untersuchungszeitraum (10:38 – 15:17 Uhr) wurde mit einem Berner Kaskadenimpaktor eine Probenahme durchgeführt. Nachfolgend ist die gravimetrisch ermittelte Massenverteilung dargestellt. Der mittlere Partikeldurchmesser liegt demnach bei 9,5 μm . Daneben wurde am Messtag mit dem Laseraerosolspektrometer eine mittlere Gesamtstaubkonzentration von 2,87 mg/m^3 ermittelt.

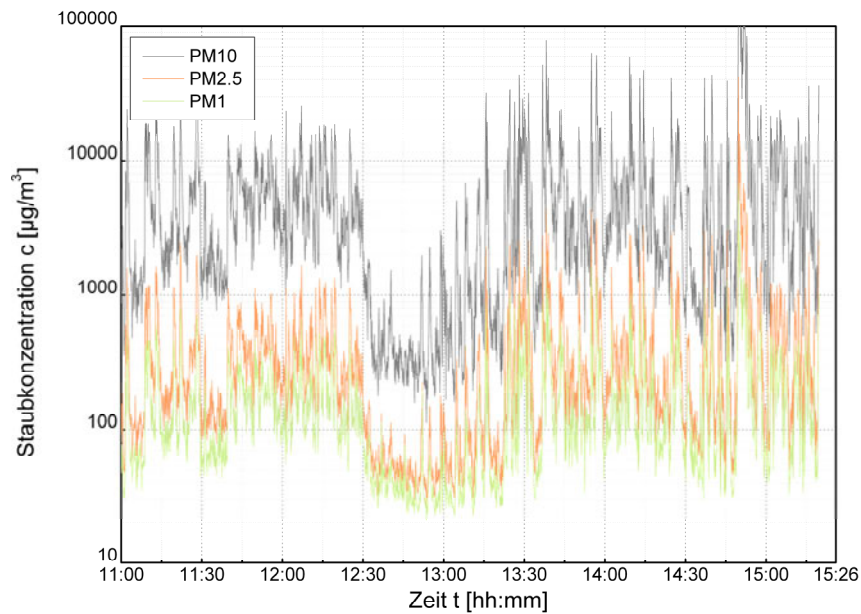


Abbildung 40: (01.09.2009) kontinuierliche Bestimmung der Staubmassenkonzentration (Laser-Aerosolspektrometer Grimm 1.106)

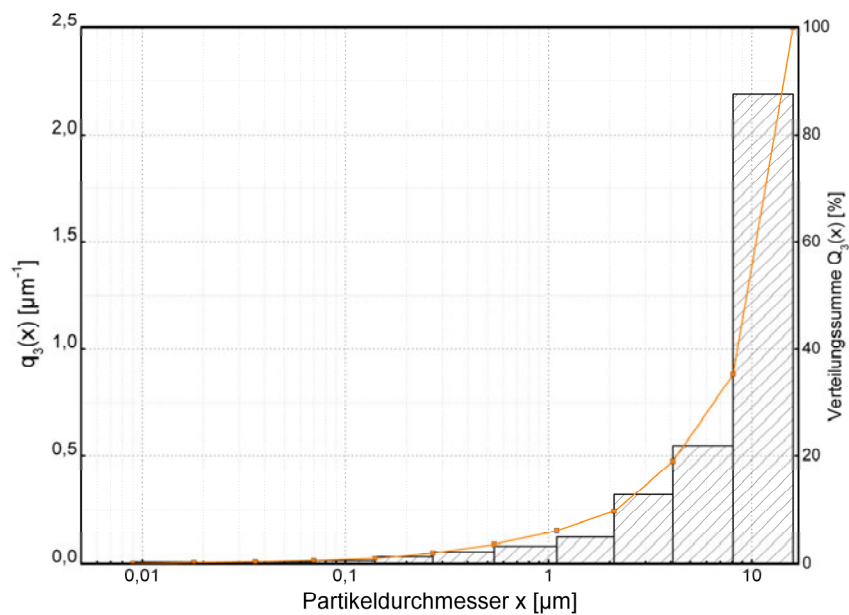


Abbildung 41: (01.09.2009) Verteilungssumme $Q_3(x)$ und Verteilungsdichte $q_3(x)$

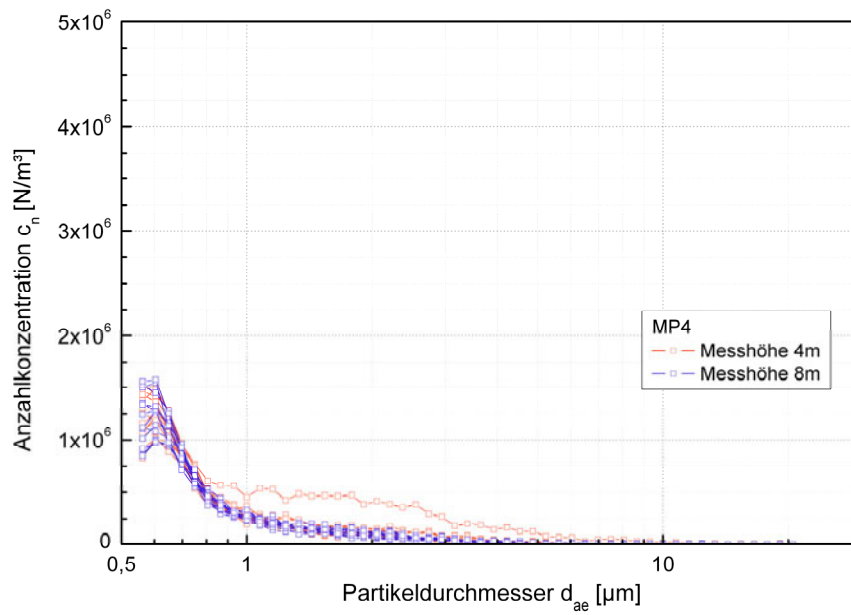


Abbildung 42: (01.09.2009) Messpunkt mit durchschnittlicher Staubkonzentration

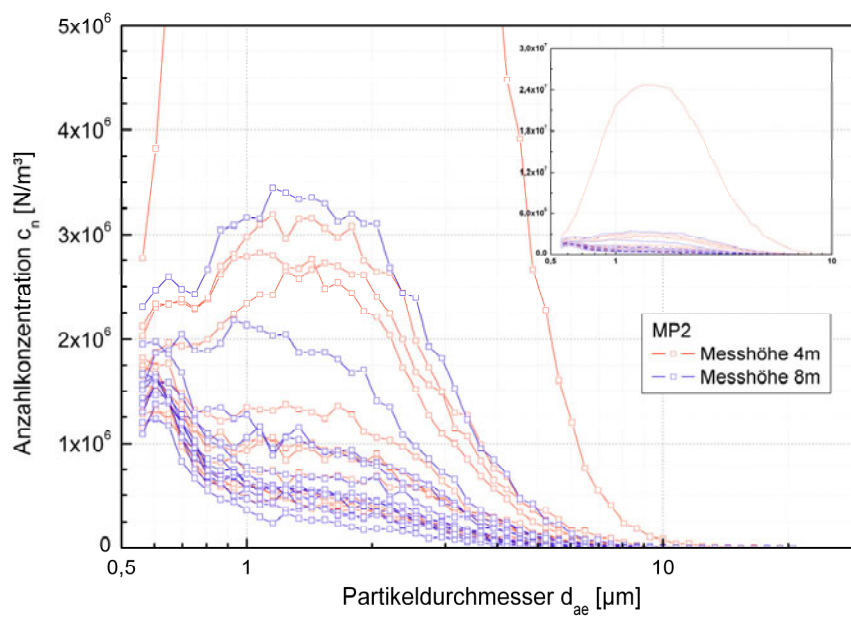


Abbildung 43: (01.09.2009) Messpunkt mit hoher Staubkonzentration

4 Staubanalyse

4.1 Bewertung der Quarzkonzentration der PM4-Fraktion

Derzeit ist kein Arbeitsplatzgrenzwert für silikogene Stäube festgelegt, sodass der allgemeine Staubgrenzwert (A-Staub) von 3 mg/m³ Gültigkeit besitzt.

Mit PM4-Quarzkonzentrationen zwischen 2,76 und 23,88 µg/m³ wird dieser Grenzwert an den vier Messtagen eingehalten (Messprotokolle im Anhang). Auch der strengere, zurückgezogene Arbeitsplatzgrenzwert von 150 µg/m³ nach der früheren TRGS 900 wurde während der Messkampagne 2 eingehalten.

Tabelle 5: Messkampagne 2, Quarzanteil an der Gesamtmasse von PM10 und PM4

			Staubmasse m [mg]	Massenanteil Quarz an PM10 bzw. PM4
1. Messtag	Ziegelschutt	PM4	1,43	13,8 %
		PM10	1,56	14,0 %
2. Messtag	Ziegelschutt	PM4	3,31	0,77 %
		PM10	5,55	0,62 %
3. Messtag	Betonrecycling	PM4	1,51	7,7 %
		PM10	2,03	9,1 %
4. Messtag	Betonrecycling	PM4	1,89	1,8 %
		PM10	2,87	1,6 %

Unter Berücksichtigung der die Emission beeinflussenden Faktoren Anlieferungsaußenkommen, Brecherdurchsatz und Wettersituation sind die vier Messtage in die Kategorie niedriger bis mittlerer Staubemission einzuordnen. Bei maximaler Staubemission (keine Bewässerung der Fahrwege, Messkampagne 3) wurde eine Gesamtstaubkonzentration unterhalb von 3 mg/m³ festgestellt, dementsprechend unterschreitet auch die Quarzkonzentration den Grenzwert von 3 mg/m³.

Überlegungen, die PM4-Quarzkonzentration auf Basis der PM4-Staubkonzentration zu berechnen, scheitern am uneinheitlichen Quarzanteil der emittierten Stäube. Anhand von Tabelle 5 wird deutlich, dass der Quarzanteil über die vier Messtage einen Bereich zwischen 0,6 – 14 % abdeckt. Andererseits kann gezeigt werden, dass der Quarzanteil in PM4- und PM10-Fraktion in der gleichen Größenordnung liegt. Ggf. können bei einer breiteren Datenbasis genauere Aussagen zum Quarzgehalt der Stäube auf einer Bauschuttrecyclinganlage getroffen werden.

4.2 Dichtebestimmung

Auf eigens ausgelegten Platten wurde im Verlauf eines Messtags sedimentierter Staub gesammelt und einer Dichtebestimmung mittels Helium-Pyknometer zugeführt. In einer Doppelbestimmung

ergab sich die Dichte des sedimentierten Staubs zu $\rho = 2,66 \text{ g/cm}^3$ (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

4.3 REM/EDX- und XRD-Analyse

In Fremdleistung (SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH) wurden an Gravimetriefiltern des Laser-aerosolspektrometers Grimm 1.106 eine REM/EDX- sowie eine XRD-Analyse durchgeführt (Messkampagne 2, Probe 1: 27.5. und 28.5, Probe 2: 3.6. und 4.6.). Die REM/EDX-Untersuchungen beinhalteten ein Rasterelektronenmikroskop (REM)-Übersichtsaufnahme, ein Energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX) sowie die Dokumentation von 10 typischen Einzelpartikeln mit REM-Bild und EDX-Spektrum. Zur Ermittlung des Quarzgehalts wurden zudem eine Röntgendiffraktometrische Untersuchung (XRD) der Proben durchgeführt.

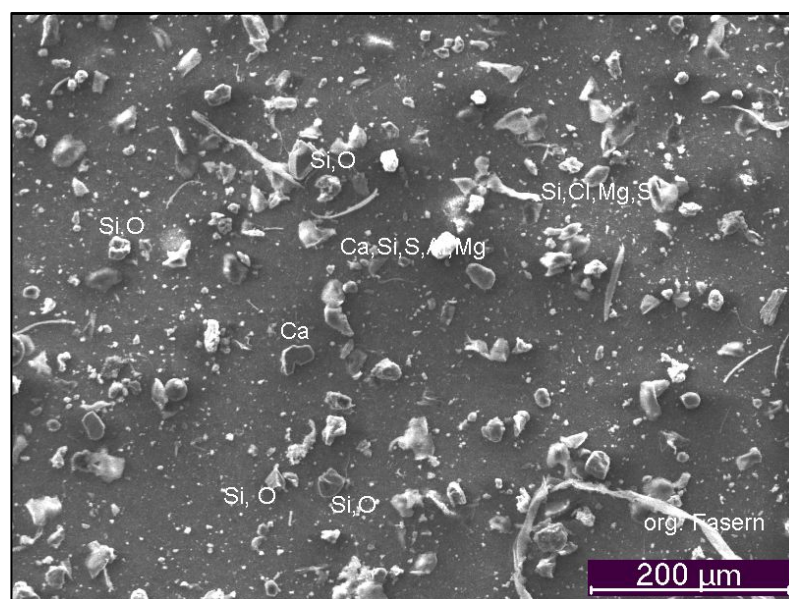


Abbildung 44: Übersichtsaufnahme, PC-Kernporenfilters mit typischen Partikeln

Nach erfolgreicher Umpräparation auf einen PC-Kernporenfilter wurde eine Übersichtsaufnahme (Abbildung 44) erzeugt, welche die typischen Partikelformen und Bestandteile des emittierten Staubs auf der Karl Köhler GmbH & Co. KG Bauschuttrecyclinganlage zeigt. Das zugehörige EDX-Spektrum ist in Abbildung 45 dargestellt. Demnach weist der Staub signifikante Gehalte von Kohlenstoff, Sauerstoff, Aluminium, Silizium, Schwefel, Chlor, Kalium, Kalzium und Eisen auf.

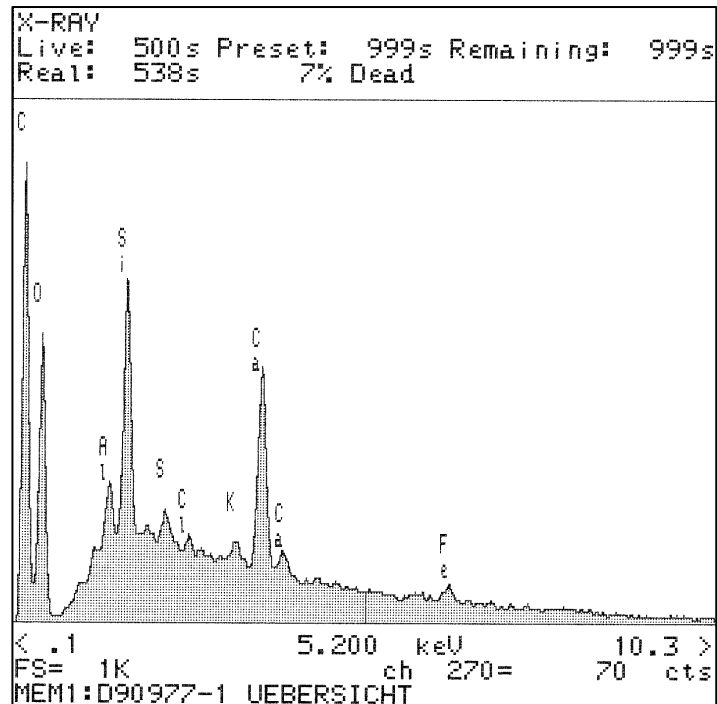


Abbildung 45: Übersichtsspektrum, PC-Kernporenfilter

Nach der Übertragung des Probenmaterials von den PTFE-Filtern auf veraschbare Filter und deren Veraschung bei 520 °C mit nachfolgender Aufnahme mit halbkonzentrierter HCl und Filtration über 450 nm Silber-Sinterfilter erfolgte deren röntgenografische Untersuchung.

Im Bereich des Quarz-Hauptpeaks wurden bei der XRD-Analyse Reflexionen vorgefunden und quantitativ im Vergleich zu einem mit 0,06 mg Quarz belegten Silberfilter ausgewertet:

- Probe 1 ergab 808 cts (324 Peakflächeneinheiten) → entspricht 0,05 mg Quarz
- Probe 2 ergab 380 cts (188 Peakflächeneinheiten) → entspricht 0,02 mg Quarz

Die gefundenen Werte liegen knapp oberhalb der Bestimmungsgrenze und entsprechen Quarzkonzentrationen von:

- Probe 1: 92,6 µg/m³
- Probe 2: 34,7 µg/m³

Der vollständige Bericht der SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH findet sich im Anhang (Kapitel 12.9).

4.4 Bestimmung der Partikelform

Auf Basis der REM-Übersichtsaufnahme wurde eine Analyse der Partikelform durchgeführt und die Breite der Partikel über deren Länge aufgetragen. Anhand von Abbildung 46 kann gezeigt werden, dass für die Mehrheit der Partikel Längsausdehnung und Breite übereinstimmen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse und den REM-Bildern der Einzelpartikel (Anhang 12.9) wird idealisiert von sphärischen Partikeln ausgegangen.

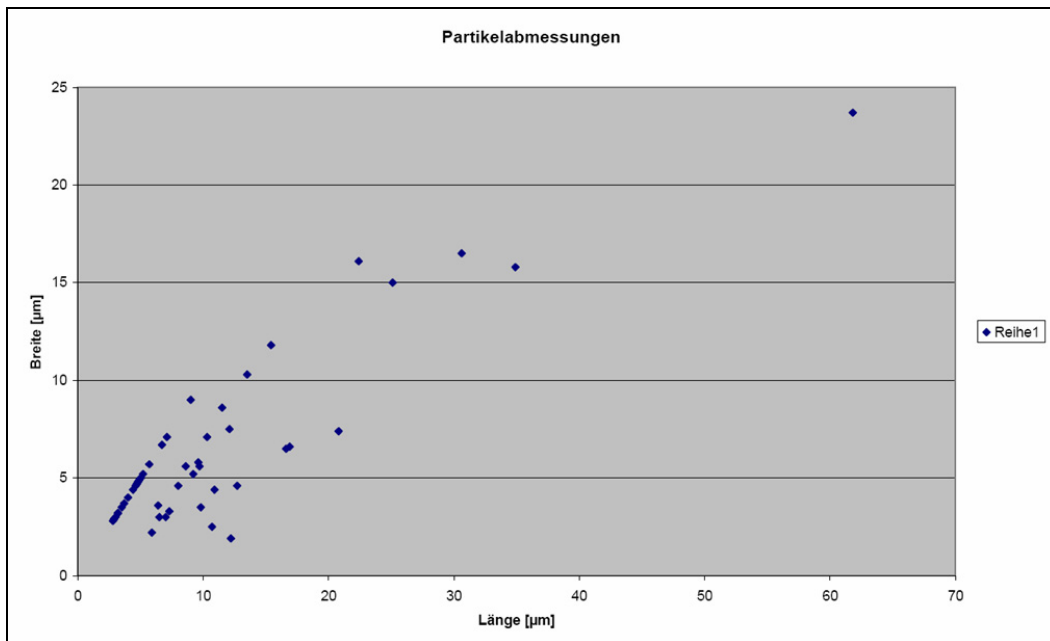


Abbildung 46: Verteilung der Formfaktoren der ausgewerteten Partikel

5 Bestimmung der Massenkonzentrationen

5.1 Flugzeitspektrometer APS 3321

Das APS 3321 wurde mit der Software PasWin 3.2 der Fa. Topas GmbH betrieben. Im Unterschied zur originalen Gerätesoftware erlaubt diese die Ansteuerung einer Umschalteinheit und die Automatisierung der Messungen in den zwei Messhöhen. Die Software erzeugt Messdateien, in denen die Ergebnisse der Messzeit, der Höhe und dem Messpunkt zugeordnet werden können. Das eigentliche Einsatzfeld der Software ist die Bestimmung von Fraktionsabscheidegraden, die Ausgabe der Messwerte erfolgt daher nicht in Form von Partikelgrößenverteilungen. Anstelle dessen erfolgt die Ausgabe der Anzahl, der im Messzeitraum gezählten Partikel der jeweiligen Größenklassen. Dieser Umstand macht die Überführung der Ergebnisse in Partikelkonzentrationen entsprechend des nachfolgend erläuterten Ablaufs erforderlich.

5.2 Überführung/Umrechnung der Messergebnisse

Die Messzyklen mit dem Flugzeitspektrometer APS 3321 auf der Bauschuttrecyclinganlage wiesen folgende Teilschritte auf:

- Spülung der Messzelle 20 s
- Stabilisierung 10 s
- Messung 20 s

Bei einem Probenahmevolumenstrom von $1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ergibt sich für eine Messzeit von 20 s ein Probevolumen von 333 cm^3 . Um die Anzahlkonzentrationen zu erhalten, ist die Partikelanzahl in den jeweiligen Größenklassen auf dieses Probevolumen zu beziehen. Unter der Annahme kugelförmiger Partikel mit einer einheitlichen Dichte $\rho = 2,66 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) erfolgt im zweiten Schritt die Umrechnung der Anzahl- in Massenkonzentrationen. Für die Bestimmung der Massenkonzentration werden die Anzahlkonzentrationen in den einzelnen Größenklassen mit dem Volumen einer Kugel (x_i entsprechend Klassenmitte) und der Partikeldichte ρ multipliziert (Gleichung 1).

$$c_{m,i} = c_{n,i} \cdot \frac{1}{6} \pi \cdot x_i^3 \cdot \rho$$

Gleichung 1: Berechnungsformel für die Massenkonzentration

Hierin sind $c_{m,i}$ die Massenkonzentration, $c_{n,i}$ die Anzahlkonzentration und x_i der mittlere aerodynamische Durchmesser der Partikel der Klasse i . Auf Basis dieser Berechnungen wurden abschließend die PM_{2.5}- und die PM₁₀-Konzentrationen für den emittierten Staub gemäß folgender Gleichungen bestimmt:

$$c_{PM2.5} = \sum_{i=1}^{i=22} c_{m,i}$$

Gleichung 2: Berechnungsformel PM_{2.5}-Konzentration

$$c_{PM10} = \sum_{i=1}^{i=41} c_{m,i}$$

Gleichung 3: Berechnungsformel PM₁₀-Konzentration

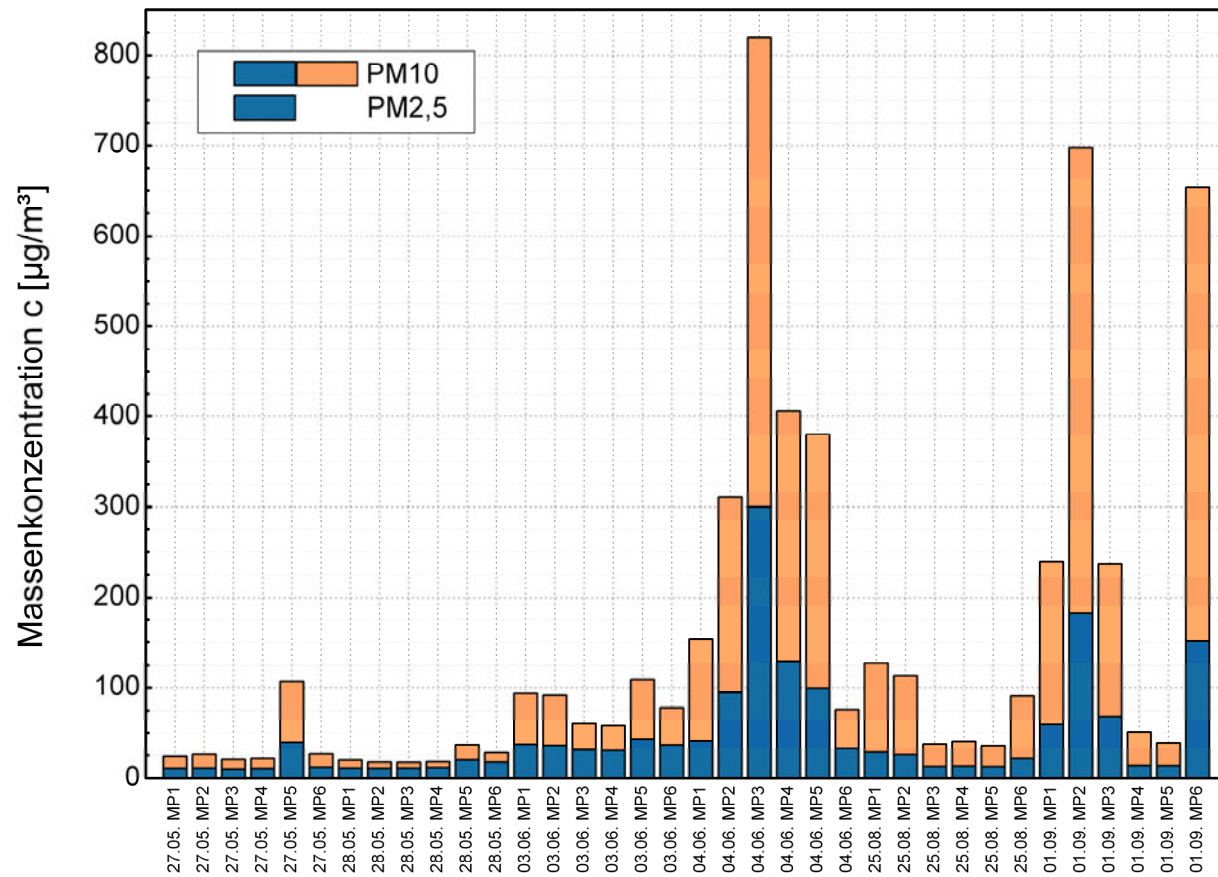


Abbildung 47: Mittlere PM2,5- und PM10-Massenkonzentrationen an den Messpunkten

5.3 Dokumentation der Datenarchivierung

Die Archivierung der in Form von Textdateien vorliegenden Messergebnisse des Flugzeitspektrometers erfolgte mittel einer Access-Datenbank, die als Bestandteil der Office-Pakete weit verbreitet ist. Ein weiterer Vorteil der Nutzung dieses Datenbanksystems liegt in der Möglichkeit der Kommunikation mit anderen Standardprogrammen der Windowsprogrammfamilie.

An jedem Messtag wurden die sechs Messpunkte viermal angefahren und jeweils drei Messungen in zwei Messhöhen durchgeführt. Im Ergebnis entstanden pro Messrunde zwei Messdateien im Textformat mit sechs Messblöcken zu je drei Messergebnisdatensätzen. Ein Ergebnisdatensatz gab Datum der Messung, Uhrzeit der Messung, Messvolumen, Messdauer und Partikelanzahl je Größenklasse wieder. Pro Messtag lagen somit acht Dateien mit jeweils sechs Datenblöcken vor, dies entspricht 144 Datensätzen. Im Ergebnis aller durchgeführten Messungen wurden 864 Datensätze aufgezeichnet und in die Datenbank importiert.

Beim Datenimport in die Accessdatenbank wurde die Datensatzstruktur als Feldname übernommen und um die Angaben Messpunkt und Messhöhe ergänzt. Die in den Textdateien vorhandenen Datenblockköpfe wurden beim Import entfernt. Anhand verschiedener Filter ermöglicht Access, auf in der Datenbank enthaltene Messergebnisse zuzugreifen und Berechnungen durchzuführen oder Ergebnisse darzustellen.

6 Ermittlung der Emissionskonzentrationen

Die diffusen Emissionen einer Bauschuttrecyclinganlage werden durch einer Vielzahl von Punktquellen (Brecher und Siebmaschine), Linienquellen (Fahrwege) und Flächenquellen (unbewachsene Haldenbereiche und Brechgut) freigesetzt, welche im einzelnen nicht quantifizierbar sind.

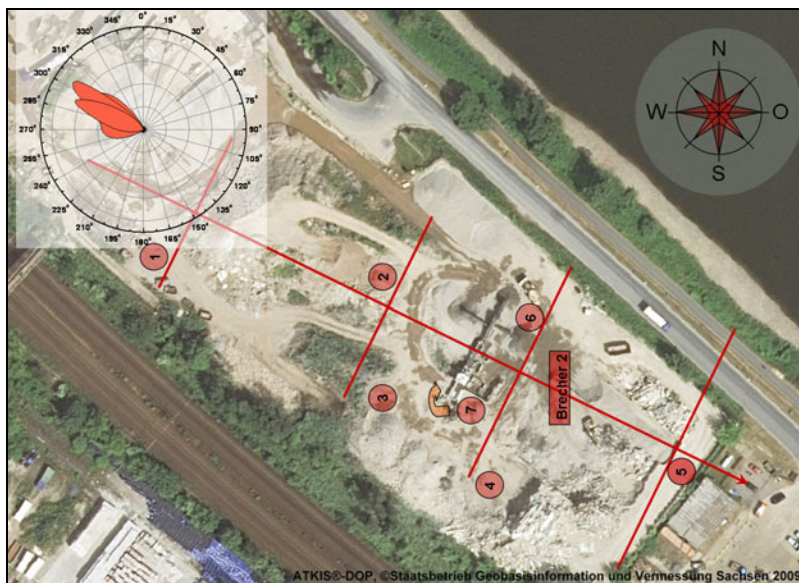


Abbildung 48: Emissionsfronten und Hauptwindrichtung, Messkampagne 2

Für die Ausbreitungsrechnung werden aus diesem Grund die undefinierten Einzelquellen durch vier Linienquellen substituiert, wobei die Berechnung der Quellstärken nach Gleichung 4 auf den typischen mittleren Konzentrationen der Emissionsfronten (siehe Abbildung 48, Abbildung 65) und dem Transportvolumenstrom basiert:

- Emissionsfront 1: Mittelwert MP1 (4 und 8 m)
- Emissionsfront 2: Mittelwert MP 2 und MP 3 (4 und 8 m)
- Emissionsfront 3: Mittelwert MP 4 und MP 6 (4 und 8 m)
- Emissionsfront 4: Mittelwert MP 5 (4 und 8 m)

Die Berechnungen der Quellstärken bei bestimmungsgemäßigem Normalbetrieb berücksichtigen die Messergebnisse der Messkampagne 1 nicht, weil starke Veränderungen auf der Bauschuttrecyclinganlage die Wahl alternativer Messstellen erforderlich machten. Zusätzlich war die Berechnung des Transportvolumenstroms aufgrund anhaltender Windstille nicht möglich.

$$\dot{Q} = c_{m,i} \cdot A_{EF} \cdot v_W$$

Gleichung 4: Berechnungsformel für die Quellstärke

In Gleichung 4 sind A_{EF} die Fläche der Emissionsfront, die aus der abströmseitig unbeeinflusst verfügbaren Breite (Normalbetrieb: $b = 42$ m, Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege: $b = 46$ m) und der Fronthöhe von 8 m gebildet wird, $c_{m,i}$ die mittlere Konzentration der Emissionsfront und v_W die mittlere Windgeschwindigkeit ($v_W = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Die Ergebnisse der Quellstärkenberechnung können Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Quellstärken der vier Linienquellen

	Emissionsfront	Mittlere Konzentration 0 - 2,5 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mittlere Konzentration 2,5 - 10 μm [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Quellstärke 0 - 2,5 μm [g/s]	Quellstärke 2,5 - 10 μm [g/s]
Normalbetrieb	1	25,2	47,4	0,034	0,064
	2	63,1	107,2	0,085	0,144
	3	35,2	53,7	0,047	0,072
	4	50,4	107,9	0,068	0,145
ohne Bewässerung	1	59,2	179,9	0,087	0,265
	2	125,2	342,0	0,184	0,503
	3	82,6	269,5	0,122	0,397
	4	14,1	24,8	0,021	0,036

7 Berechnung und Charakterisierung des Ausbreitungsverhaltens

Die Gravitation wirkt mit einer nachweisbaren Wirkung nur auf Teilchen mit einem Durchmesser größer etwa 5 µm. Diese atmosphärischen Aerosolteilchen werden daher auch als Sedimentationsstaub bezeichnet. Die der Sedimentation zugrunde liegende Gravitation ist auch das für die Ablagerung von Hydrometeoren (Niederschlag) verantwortliche physikalische Prinzip. Allerdings wird der Substanzaustrag durch Regen, Schnee und andere feste Hydrometeore als nasse Deposition bezeichnet. Ein Regentropfen fällt zwar infolge der Gravitation zur Erdoberfläche, er entfernt aber während des Fallens außerdem gasförmige Spurenstoffe und Aerosolpartikel aus der Atmosphäre durch Sorption und Anlagerung. Deposition bedeutet Austrag von Substanz aus der Atmosphäre. Damit ist ein logischer Gegensatz zur Emission als Eintrag von Substanz in die Atmosphäre hergestellt und mit der Spurenstoffkette Emission/Ausbreitung/Deposition ist der gesamte atmosphärische Pfad erfasst, der wiederum in einen größeren Zusammenhang des biogeochemischen Stoffkreislaufes gestellt werden kann. Allgemein handelt es sich um einen Stoffübergang aus der Atmosphäre an die Erdoberfläche und schließlich in das die Erdoberfläche darstellende Reservoir (Wasser, Boden, Pflanze, Tier, Mensch, sonstige Materialien) [MÖLLER].

7.1 Berechnung der Ausbreitung und Deposition

Betrachtet wird hier nur die trockene Deposition. Grundsätzlich muss bei der trockenen Deposition zwischen der Sinkgeschwindigkeit von Partikeln und der Depositionsgeschwindigkeit unterschieden werden. Die Sinkgeschwindigkeit v beschreibt im Wesentlichen die Sedimentation aufgrund der Gravitationswirkung (Gewichtskraft) und wird für sphärische Partikeln nach Stokes berechnet:

$$v_{St} = \frac{(\rho_p - \rho_g) \cdot d_p^2 \cdot g}{18 \cdot \eta}$$

Gleichung 5: Sinkgeschwindigkeit nach Stokes

Hierin sind ρ_p die Partikeldichte, ρ_g die Luftdichte, η die dynamische Viskosität der Luft, g die Erdbeschleunigung und d_p der Durchmesser des Partikels. Die Sinkgeschwindigkeit wird in dieser Form auch für viele technische Prozesse verwendet. Bei atmosphärischen Prozessen ist die Sinkgeschwindigkeit allein nicht geeignet, das Absinken von Partikeln mit geringen Durchmessern in geeigneter Weise zu beschreiben. Dies geschieht mittels der Depositionsgeschwindigkeit. Die Depositionsgeschwindigkeit v_d ergibt sich dabei als rechnerische Größe aus dem Verhältnis einer Massenstromdichte N einer Komponente zur Konzentration c der Komponente in der Gasphase in einer Referenzhöhe z :

$$v_d = \frac{N(z)}{c(z)}$$

Gleichung 6: Depositionsgeschwindigkeit

Hierin sind v_d die Depositionsgeschwindigkeit in cm/s, N die Massenstromdichte der Komponente in $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, c die Konzentration der Komponente in $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ und z die Höhe in m.

Bei der Ausbreitungsrechnung werden Gauß-, Euler- oder Lagrange-Modelle verwendet, mit denen die räumliche Verteilung des Staubniederschlags als Deposition von Stäuben sowie die Schwebstaubkonzentration berechnet werden können. Die in den Modellen zu verwendenden Depositionsgeschwindigkeiten werden ausgehend von den Partikeldurchmessern festgelegt. Partikelform und -dichte werden dabei über den aerodynamischen Durchmesser berücksichtigt. In der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft wird einzelnen Partikeldurchmesserklassen jeweils eine Depositionsgeschwindigkeit zugeordnet (vgl. Tabelle 7). Somit werden die PM10- und PM2,5-Fractionen formal berücksichtigt.

Tabelle 7: Zuordnung von Partikelklassen, Sink- und Depositionsgeschwindigkeiten

Klasse	d_a [μm]	v_d [m/s]	v_s [m/s]
1	< 2,5	0,001	0,00
2	2,5 bis 10	0,01	0,00
3	10 bis 50	0,05	0,04
4	> 50	0,20	0,15

7.2 AUSTAL2000

Als Berechnungsprogramm, das die neuen Vorgaben der TA Luft erfüllt, wurde das Programm AUSTAL2000 mit der grafischen Oberfläche Go-AUSTAL (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH) eingesetzt. Das Programm realisiert ein Lagrange-Modell nach VDI 3945 Blatt 3. Bei der Ausbreitungsrechnung für Stäube werden trockene Deposition und Sedimentation berücksichtigt.

Geländerauigkeit

Die Geländerauigkeit ist in einer Datenmatrix für das Bundesgebiet fixiert. Über die Eingabe des Emissionsorts mit Rechts- und Hochwert (Gauß-Krüger-Koordinatensystem) kann dem Messort ein konkreter Wert der Bodenrauigkeit zugeordnet werden (Abbildung 49, Bodenrauigkeit im Elbtal bei Heidenau).



Abbildung 49: Bodenrauigkeit im Elbtal (links) und am Standort der Bauschuttrecyclinganlage (rechts), CORINE-Katasters

Tabelle 8: Zuordnung der Geländerauigkeiten

z_0 in m	CORINE-Klasse
0,01	Strände, Dünen und Sandflächen (331); Wasserflächen (512)
0,02	Deponien und Abraumhalden (132); Wiesen und Weiden (231); Natürliches Grünland (321); Flächen mit spärlicher Vegetation (333); Salzwiesen (421); in der Gezeitenzone liegende Flächen (423); Gewässerläufe (511); Mündungsgebiete (522)
0,05	Abbauf Flächen (131); Sport- und Freizeitanlagen (142); nicht bewässertes Ackerland (211); Gletscher und Dauerschneegebiete (335); Lagunen (521)
0,10	Flughäfen (124); Sümpfe (411); Torfmoore (412); Meere und Ozeane (523)
0,20	Straßen, Eisenbahn (122); Städtische Grünflächen (141); Weinbauflächen (221); Komplexe Parzellenstrukturen (242); Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung (243); Heiden und Moorheiden (322); Felsflächen ohne Vegetation (332)
0,50	Hafengebiete (123); Obst- und Beerenobstbestände (222); Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)
1,00	nicht durchgängig städtische Prägung (112); Industrie- und Gewerbeflächen (121); Baustellen (133); Nadelwälder (312)
1,50	Laubwälder (311); Mischwälder (313)
2,00	durchgängig städtische Prägung (111)

Auf Basis einer Karte des Staatsbetriebs Geobasisinformation und Vermessung Sachsen wurden die Koordinaten des alten Brechers auf dem Gelände der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau (Rechtswert 5648168, Hochwert 5422149) bestimmt und als Koordinatenursprung für die Ausbreitungsrechnung gewählt. Über das CORINE-Kataster wird dem zu betrach-

tenden Areal die CORINE-Klasse 7 zugeordnet, die für Gebiete nicht durchgängig städtischer Prägung, Industrie- und Gewerbeflächen sowie Baustellen steht.

Meteorologische Daten

Zudem benötigt AUSTAL2000 die Vorgabe der Windgeschwindigkeiten und -richtungen als Zeitreihe über den Verlauf eines Jahres. Diese Daten können einerseits vom Deutschen Wetterdienst (DWD) in Form von AKTerm-Dateien bezogen oder in eigenen Messungen bestimmt werden [AUSTAL]. Für die im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie durchgeführten Ausbreitungsrechnungen wurde auf die Datei „anno99.akt“ des DWD zurückgegriffen (Abbildung 51), die die Windverhältnisse am Messort gut wiedergibt (Abbildung 51).

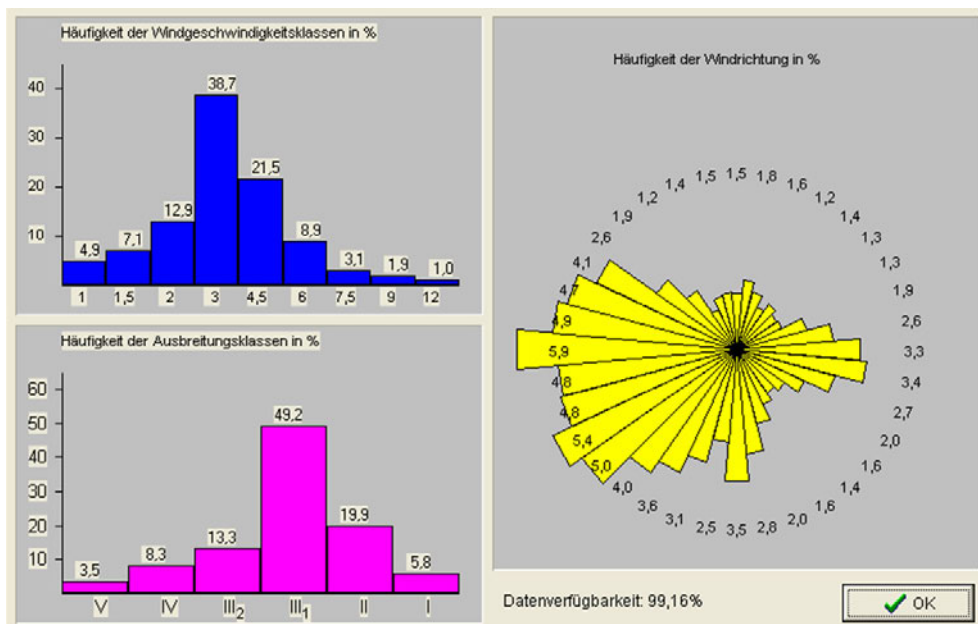


Abbildung 50: Windstatistik des DWD

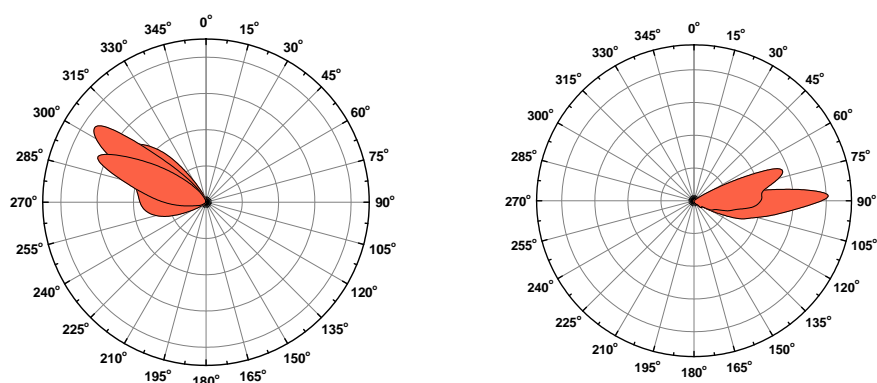


Abbildung 51: Windstatistik Messkampagne 2 (links), Windstatistik Messkampagne 3 (rechts)

Emissionsquellen und -faktoren

Neben den geografischen und meteorologischen Eingaben benötigt AUSTAL2000 die Vorgabe der Lage der Emissionsquellen und deren Quellstärke. Der Berechnung der Immissionen im Umfeld der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau liegt ein Modell mit vier Linienquellen entsprechend Abbildung 48 zu Grunde, wobei die Koordinaten der Quellen relativ zum Standpunkt des Brechers (Koordinatenursprung der Ausbreitungsrechnung) angegeben sind. Unterschiedliche Depositionsgeschwindigkeiten der Partikel in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser (Tabelle 7) machen zudem die Vorgabe einer Quellstärke für Partikel mit einem Durchmesser zwischen 0 - 2,5 µm und für solche mit einem Durchmesser von 2,5 - 10 µm erforderlich.

Die folgende Auflistung enthält die Erklärung der in die Start-Datei eingegebenen Parameter und ihre Standardwerte.

- aq (ng) Ausdehnung der Quelle in x-Richtung, wenn keine Drehung vorliegt (Standardwert 0). Eine Quelle wird als Quader definiert, der um die vertikale Achse gedreht sein kann. Ohne Drehung bezeichnen xq und yq in der Aufsicht die linke untere Ecke des Quaders und hq ist sein Abstand vom Erdboden. aq, bq und cq sind seine Ausdehnungen in x-, y- und z-Richtung. Der Winkel wq bezeichnet eine Drehung um die linke untere Ecke gegen den Uhrzeigersinn (in Grad).
- az (1) Name der meteorologischen Zeitreihe (AKTerm)
- cq (nq) Vertikale Ausdehnung der Quelle (Standardwert 0), vgl. aq.
- bq (nq) Ausdehnung der Quelle in y-Richtung, wenn keine Drehung vorliegt (Standardwert 0), vgl. aq.
- gx (1) Rechtswert des Koordinaten-Nullpunktes in Gauß-Krüger-Koordinaten. Die angegebenen Koordinaten werden bei Bedarf, z. B. zur Berechnung von zo, auf den dritten Streifen umgerechnet (wird in der Protokoll-Datei vermerkt). Zulässiger Wertebereich bei Darstellung im dritten Streifen: $3279000 \leq gx \leq 3957000$.
- gy (1) Hochwert des Koordinaten-Nullpunktes in Gauß-Krüger-Koordinaten (vgl. gx). Zulässiger Wertebereich bei Darstellung im dritten Streifen: $5229000 \leq gy \leq 6120000$.
- ha (1) Anemometer ha über Grund (Standardwert 10 m + do). Wird eine AK-Term verwendet, die Angaben zur Anemometerhöhe für alle Rauigkeitsklassen enthält, dann wird standardmäßig hieraus der zum verwendeten zo gehörige Wert genommen. 10
- hq (nq) Höhe der Quelle (Unterkante) über dem Erdboden (Standardwert nicht vorhanden, dieser Parameter muss gesetzt werden)
- qs (1) Qualitätsstufe zur Festlegung der Freisetzungsrates von Partikeln (Standardwert 0). Eine Erhöhung um 1 bewirkt jeweils eine Verdoppelung der Partikelzahl und damit eine Verringerung der statistischen Unsicherheit (Streuung) um den Faktor $1/\sqrt{2}$. Allerdings verdoppelt sich damit auch die Rechenzeit. Entsprechendes gilt für eine Verringerung des Wertes. Standardmäßig wird eine AKS mit mindestens 43.000.000 Partikeln gerechnet, eine AK-Term mit mindestens 63.000.000 Partikeln.

pm-1 / 2 Schwebstaub (PM-10) wird durch die beiden Komponenten pm-1 und pm-2 repräsentiert.

Ausbreitungsrechnung

Die Ausbreitungsrechnungen beruhen auf zwei Emissionssituationen, die in den Untersuchungen für das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie messtechnisch erfasst werden sollten. Die erste Immissionsprognose zeigt die zusätzliche Deposition von Staub und die Erhöhung der Staubkonzentration, die durch die Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau im bestimmungsgemäßen Normalbetrieb hervorgerufen wird (Eingabeparameter siehe Abbildung 52). Die zweite Immissionsprognose zeigt die zusätzliche Deposition von Staub und die Erhöhung der Staubkonzentration bei Verzicht auf die Bewässerung der Fahrwege bei trockenem Wetter (Eingabeparameter siehe Abbildung 53).

```
===== Beginn der Eingabe
> ti "KarlKoebler7"
> az "..\..\Meteodata\anno99.akt"
> gx 542149
> gy 5648168
> z0 1
> xq -88 -33 2 37
> yq 16 -13 -31 -57
> hq 2 2 2 2
> aq 42 42 42 42
> bq 1 1 1 1
> cq 8 8 8 8
> wq 50 50 50 50
> pm-1 0.034 0.085 0.047 0.068
> pm-2 0.064 0.144 0.072 0.145
> xa 0
> ya 0
===== Ende der Eingabe
```

Abbildung 52: Eingabedaten für die Ausbreitungsrechnung bei bestimmungsgemäßigem Betrieb


```

===== Beginn der Eingabe
> ti "KarlKoehler9"
> az "..\..\Metoddata\anno99.akt"
> gx 5422149
> gy 5648168
> z0 1
> xq -88 -33 2 37
> yq 16 -13 -31 -57
> hq 2 2 2 2
> aq 42 42 42 42
> bq 1 1 1 1
> cq 8 8 8 8
> wq 50 50 50 50
> pm-1 0.087 0.184 0.122 0.021
> pm-2 0.265 0.503 0.397 0.036
> xa 0
> ya 0
===== Ende der Eingabe

```

Abbildung 53: Eingabedaten für die Ausbreitungsrechnung bei Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege

7.3 Ergebnis der Ausbreitungsrechnung – bestimmungsgemäßer Normalbetrieb

Aus den oben vorgestellten Eingabewerten wurden mit dem Programm AUSTAL2000 die Werte für die Ausbreitung ermittelt. Das Ergebnis wird automatisch generiert. Die Rechenzeit betrug mit einem Intel® Core™2 Duo-Prozessor ca. drei Stunden. Nachfolgend wird das Logfile für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Bauschuttrecyclinganlage vorgestellt.

```

Auswertung der Ergebnisse:
=====
DEP: Jahresmittel der Deposition
J00: Jahresmittel der Konzentration
Tnn: Höchstes Tagesmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen
Snn: Höchstes Stundenmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen

WARNUNG: Eine oder mehrere Quellen sind niedriger als 10 m.
         Die im Folgenden ausgewiesenen Maximalwerte sind daher
         möglicherweise nicht relevant für eine Beurteilung!

Maximalwerte, Deposition
=====
PM DEP : 0.2764 g/(m²*d) (+/- 0.1%) bei x= 53 m, y= -38 m ( 76, 68)
=====

Maximalwerte, Konzentration bei z=1.5 m
=====
PM J00 : 504.4 µg/m³ (+/- 0.1%) bei x= 53 m, y= -38 m ( 76, 68)
PM T35 : 823.7 µg/m³ (+/- 0.9%) bei x= 53 m, y= -38 m ( 76, 68)
PM T00 : 1276.7 µg/m³ (+/- 0.9%) bei x= 53 m, y= -38 m ( 76, 68)
=====

```

Abbildung 54: Logfile, bestimmungsgemäßer Betrieb der Bauschuttrecyclinganlage

Die Ergebnisse zeigen mittlere Depositionsraten für PM10 Staub. Anhand der Koordinaten (x= 53m; y= -38m, nahe Messpunkt 5) des Standorts mit der maximalen Deposition wird deutlich, dass ein Großteil der von der Flächenquelle Bauschuttrecyclinganlage freigesetzten Stäube quellenah deponiert wird. Anhand von Abbildung 55 und Abbildung 56 kann gezeigt werden, dass mit zunehmender Entfernung zur Quelle sowohl die Depositionsmenge als auch die zusätzliche Staubkonzentration schnell abnimmt:

- Konzentrationserhöhung durch die Recyclinganlage: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Umkreis von 150 m, Reduktion der Konzentrationserhöhung auf $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Umkreis von ca. 300 m
- zusätzliche Staubdeposition durch die Recyclinganlage: $4 \text{ mg}/\text{m}^2\text{d}$ im Umkreis von 250 m, Reduktion der Staubdeposition auf ca. $0,9 \text{ mg}/\text{m}^2\text{d}$ im Umkreis von 500 m

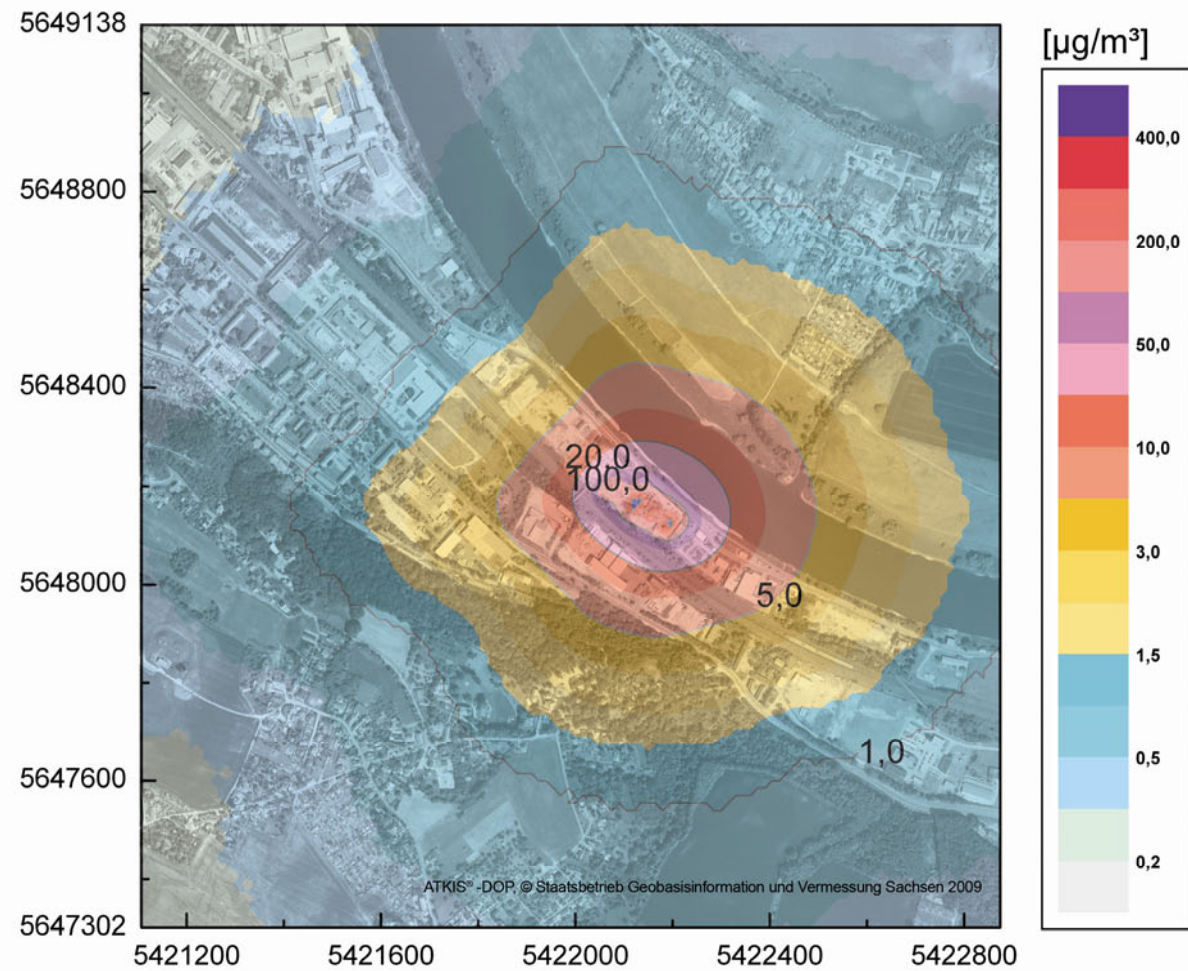


Abbildung 55: Jahresmittelwert Staubkonzentration (Zusatzbelastung), bestimmungsgemäßer Betrieb (Datei: pm-j00z.dma)

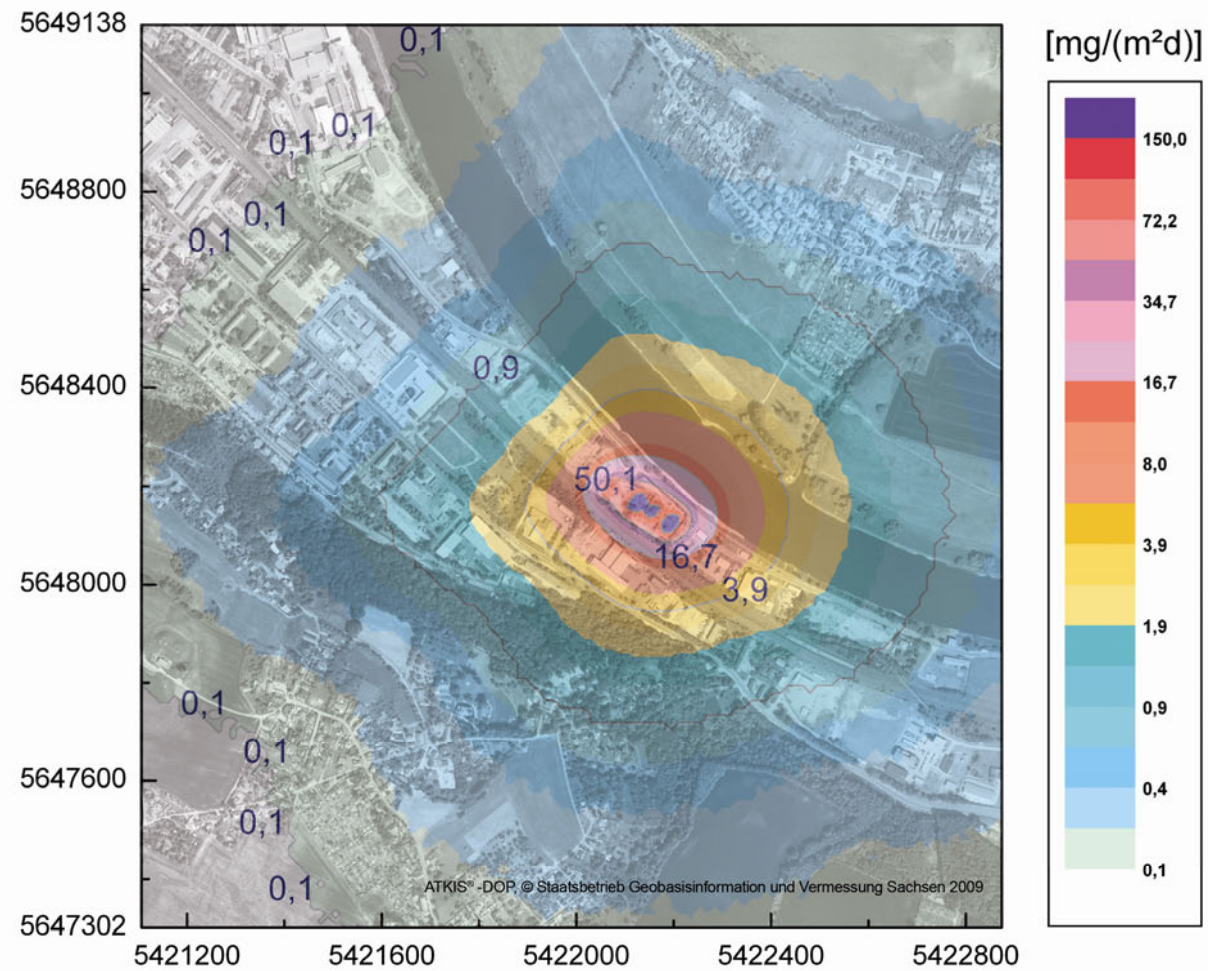


Abbildung 56 Jahresmittelwert Staubdeposition (Zusatzbelastung), bestimmungsgemäßer Betrieb (Datei: pm-depz.dma)

7.4 Ergebnis der Ausbreitungsrechnung – ohne Bewässerung der Fahrwege

Aus den oben vorgestellten Eingabewerten wurden mit dem Programm AUSTAL2000 die Werte für die Ausbreitung ermittelt. Das Ergebnis wird automatisch generiert. Die Rechenzeit betrug mit einem Intel® Core™2 Duo- Prozessor ca. drei Stunden. Nachfolgend wird das Logfile für den Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege vorgestellt.

```
Auswertung der Ergebnisse:
=====
DEP: Jahresmittel der Deposition
J00: Jahresmittel der Konzentration
Tnn: Höchstes Tagesmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen
Snn: Höchstes Stundenmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen

WARNING: Eine oder mehrere Quellen sind niedriger als 10 m.
         Die im Folgenden ausgewiesenen Maximalwerte sind daher
         möglicherweise nicht relevant für eine Beurteilung!

Maximalwerte, Deposition
=====
PM DEP: 0.8608 g/(m²*d) (+/- 0.1%) bei x= -23 m, y= 8 m ( 71, 71)
=====

Maximalwerte, Konzentration bei z=1.5 m
=====
PM J00 : 1426.7 µg/m³ (+/- 0.1%) bei x= -23 m, y= 8 m ( 71, 71)
PM T35 : 2404.3 µg/m³ (+/- 1.2%) bei x= -23 m, y= 8 m ( 71, 71)
PM T00 : 3520.8 µg/m³ (+/- 0.9%) bei x= -23 m, y= -8 m ( 71, 70)
=====
```

Abbildung 57: Logfile, Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege auf der Bauschuttrecyclinganlage

Die Ergebnisse zeigen hohe Depositionsraten für PM10 Staub. Anhand der Koordinaten (x= -23m; y= 8m, nahe Messpunkt 2) des Standorts mit der maximalen Deposition wird deutlich, dass ein Großteil der von der Flächenquelle Bauschuttrecyclinganlage freigesetzten Stäube quellenah deponiert wird. Anhand von Abbildung 55 und Abbildung 56 kann gezeigt werden, dass mit zunehmender Entfernung zur Quelle sowohl die Depositionsmenge als auch die zusätzliche Staubkonzentration schnell abnimmt:

- Konzentrationserhöhung durch die Recyclinganlage: 20 µg/m³ im Umkreis von 250 m, Reduktion der Konzentrationserhöhung auf 5 µg/m³ im Umkreis von ca. 500 m
- zusätzliche Staubdeposition durch die Recyclinganlage: 14 mg/m²d im Umkreis von 250 m, Reduktion der Staubdeposition auf ca. 3 mg/m²d im Umkreis von 500 m

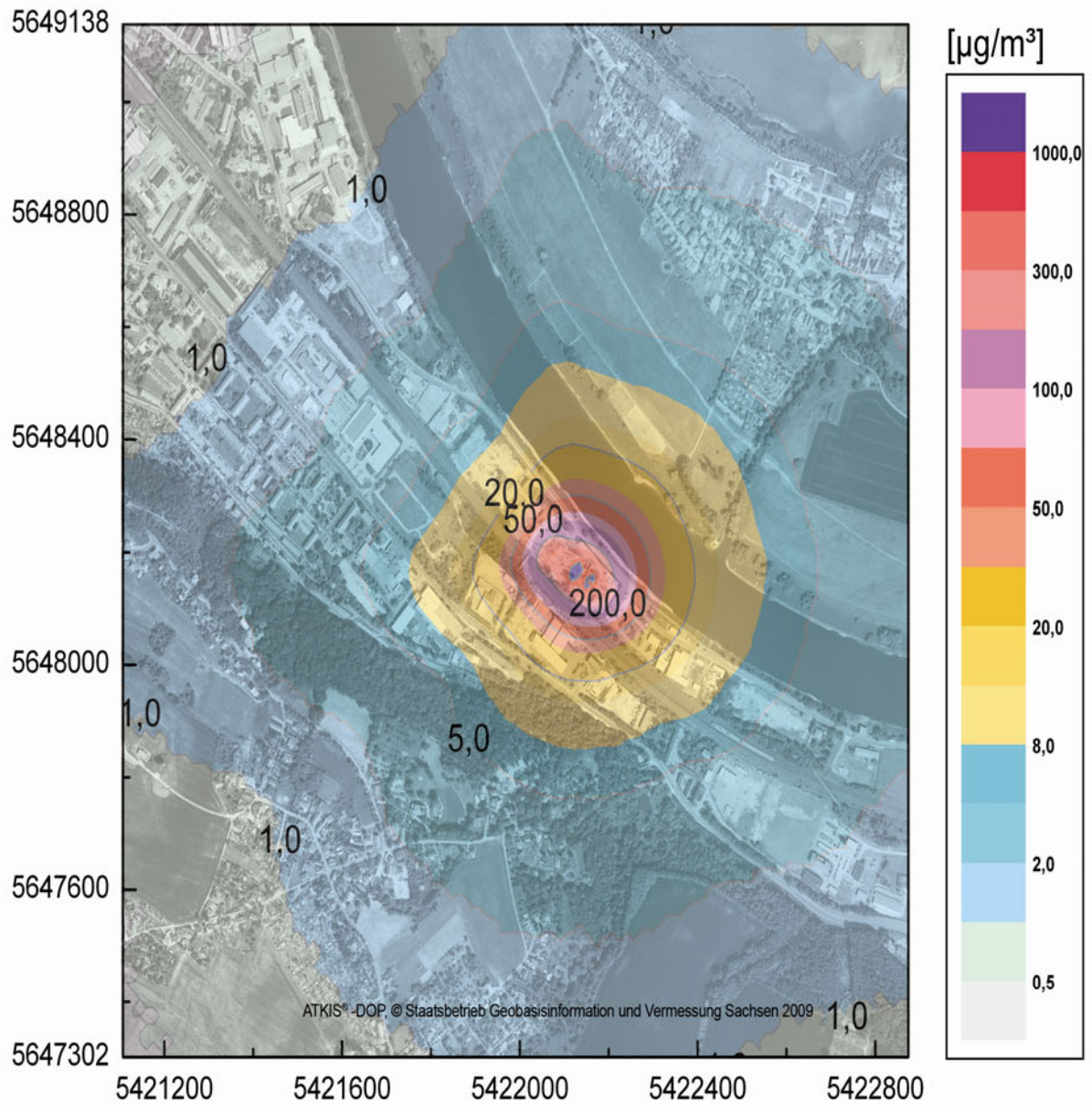


Abbildung 58: Jahresmittelwert Staubkonzentration (Zusatzbelastung), Betrieb ohne Bewässerung Fahrwege (Datei: pm-j00z.dma)

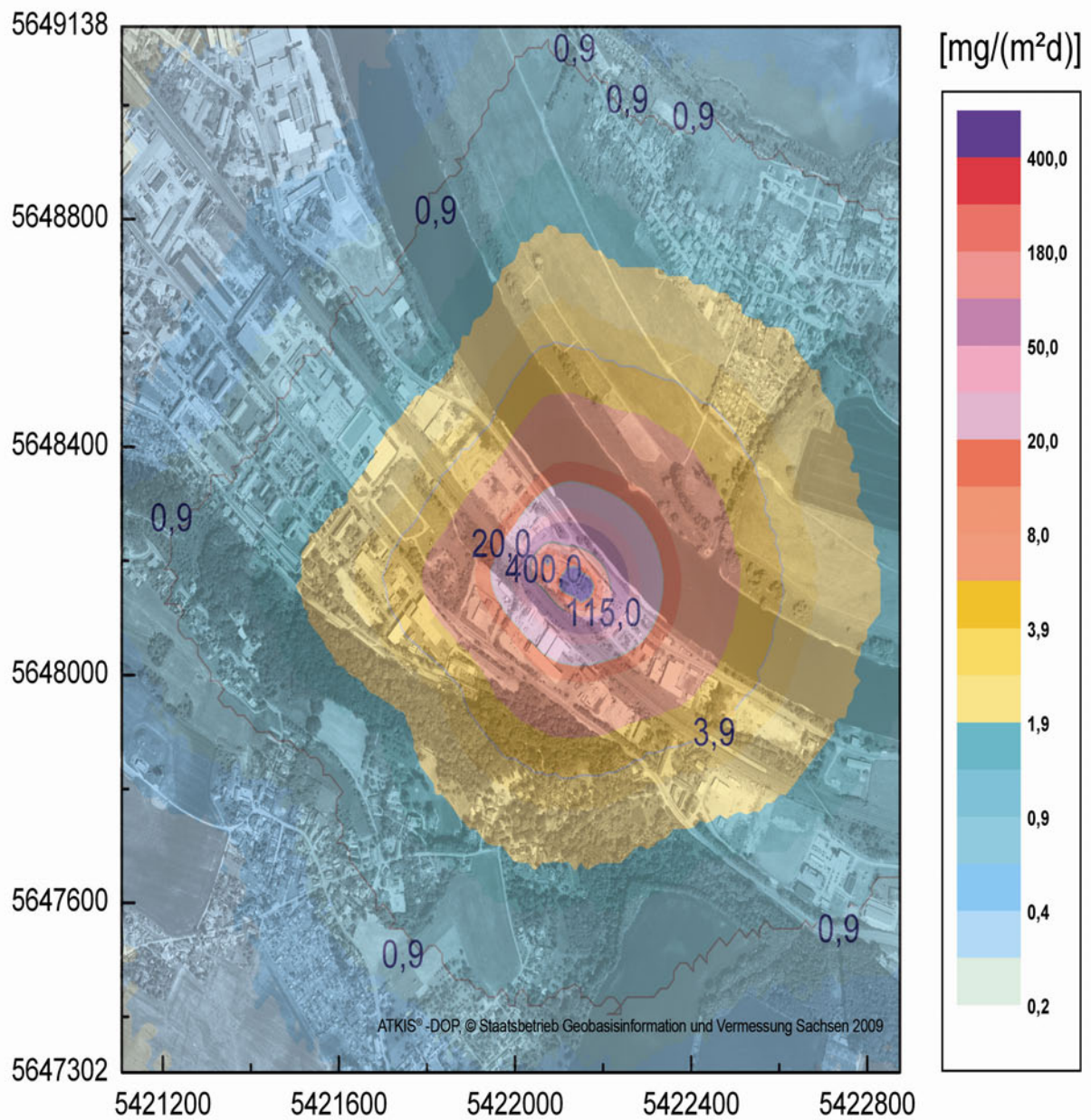


Abbildung 59 Jahresmittelwert Staubdeposition (Zusatzbelastung), Betrieb ohne Bewässerung Fahrwege (Datei: pm-depz.dma)

8 Bewertung der Messergebnisse

In der vorliegenden Arbeit konnten die Erkenntnisse aus den Untersuchungen zur diffusen Emission eines Asphaltmischwerks [ILK 2003] verwendet werden, um Immissionsprognosen für eine Bauschuttrecyclinganlage abzuleiten. Hierfür wurden die diffusen Emissionen hinsichtlich ihrer Konzentration und der Korngrößenverteilung des Staubes quantifiziert. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt bewerten:

- Im Lee der Bauschuttrecyclinganlage wurde unter Verwendung einer mobilen Messeinheit die diffuse Staubemissionskonzentration an sechs Messpunkten in zwei Messhöhen ermittelt. Die Standorte der Messpunkte waren derart gewählt, dass die Bildung mittlerer Staubkonzentrationen für vier Emissionsfronten möglich wurde. Eigene meteorologische Messungen bezüglich der Windgeschwindigkeit und -richtung erlaubten die Berechnung der jeweiligen Transportvolumenströme und die der resultierenden Quellstärken.
- Im bestimmungsgemäßen Normalbetrieb wurden für die Emissionsfronten mittlere PM10-Konzentrationen zwischen $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Demgegenüber stehen im Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege mittlere PM10-Konzentrationen zwischen $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $467 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die jeweils niedrigeren Konzentrationen stellen die Hintergrundkonzentration dar, die im Luv der Flächenquelle ermittelt wurden.
- Anhand der mit dem AERAS-Kaskadenimpaktor gravimetrisch ermittelten Partikelgrößenverteilungen wurde der mittlere aerodynamische Partikeldurchmesser des emittierten Staubs am MP7 während Messkampagne 2 zu $d_{ae,50} = 6,6 \mu\text{m}$ und während Messkampagne 3 zu $d_{ae,50} = 9,8 \mu\text{m}$ bestimmt.
- Die Dichte des am Messpunkt 7 deponierten Staubs wurde unter Verwendung eines Helium-Pyknometers zu $\rho = 2,66 \text{ g}/\text{cm}^3$ bestimmt.
- Die PM4-Quarzkonzentration wurde im Laufe der vier Messtage von Messkampagne 2 ermittelt. Mit PM4-Quarzkonzentrationen in einem Bereich zwischen $2,76$ und $23,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werden die Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten.
- Auf Basis der Breite der Emissionsfronten, der Windrichtungen und der Staubkonzentrationen wurden die Quellstärken (Tabelle 6) für vier Linienquellen bei zwei Emissionssituationen ermittelt. Dabei wurde zwischen den Quellstärken für Partikel mit einem Durchmesser zwischen $0 - 2,5 \mu\text{m}$ und $2,5 - 10 \mu\text{m}$ unterschieden, da deren unterschiedliche Depositionsgeschwindigkeiten von AUSTAL2000 berücksichtigt werden.
- Der 1. Ausbreitungsrechnung wurden die Parameter des bestimmungsgemäßen Normalbetriebs zu Grunde gelegt. AUSTAL gibt für diese Parameter eine maximale Staubdeposition von $0,2764 \text{ g}/\text{m}^2\text{d}$ und eine im Jahresschnitt um $504 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erhöhte Staubkonzentration nahe MP5 aus. In einem Umkreis von 150 m wird durch die Bauschuttrecyclinganlage im Jahresschnitt eine zusätzliche Staubkonzentration von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hervorgerufen. In einer Entfernung von 300 m reduziert sich die zusätzliche Konzentration auf $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Umkreis von 500 m beträgt die zusätzliche Staubdeposition durch die Bauschuttrecyclinganlage $0,9 \text{ mg}/\text{m}^2\text{d}$. Die Größenordnung der berechneten Konzentrationen auf dem Gebiet der Bauschuttrecyclinganlage entspricht den dort gewonnenen Messwerten und die er-

mittelten zusätzlichen Konzentrationen im Jahresschnitt in größerer Entfernung zur Bauschuttrecyclinganlage scheinen plausibel.

- Der 2. Ausbreitungsrechnung wurden die Parameter des Betriebs ohne Bewässerung, bei sonst mit der Ausbreitungsrechnung 1 identischen Bedingungen, zu Grunde gelegt. AUSTAL2000 gibt für diese Parameter eine maximale Staubdeposition von $0,8608 \text{ g/m}^2\text{d}$ und eine im Jahresschnitt um $1.427 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ erhöhte Staubkonzentration nahe MP2 aus. In einem Umkreis von 250 m wird durch die Bauschuttrecyclinganlage im Jahresschnitt eine zusätzliche Staubkonzentration von $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ hervorgerufen. In einer Entfernung von 500 m reduziert sich die zusätzliche Konzentration auf $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Im Umkreis von 500 m beträgt die zusätzliche Staubdeposition durch die Bauschuttrecyclinganlage $3 \text{ mg/m}^2\text{d}$. Die Ergebnisse dieser Ausbreitungsrechnung sind als absolute Maximalwerte zu betrachten, die im Normalfall nicht erreicht werden können. Hierfür wäre es notwendig, dass über das gesamte Jahr eine gleichbleibend hohe Quellstärke wirkt.

9 Zusammenfassung Messung

Gegenstand der Untersuchungen im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie war die Charakterisierung der diffusen Emissionen auf der Bauschuttrecyclinganlage der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau.

Zur Bearbeitung dieser Aufgabenstellung kam erneut die mobile Probenahme- bzw. Messeinrichtung zum Einsatz, die in weiten Teilen bei der Bestimmung der diffusen Emissionen eines Asphaltmischwerks erfolgreich eingesetzt wurde. Die Messstellen im Lee der Emissionsquellen waren zur Messung der Staubkonzentration und Partikelgrößenverteilungen in 4 und 8 m Höhe viermal pro Tag anzufahren. Die so erhaltenen Messergebnisse bilden gemeinsam mit den meteorologischen Daten die Grundlage für die Berechnung der Quellstärken von vier Linienquellen. Diese substituieren während der Ausbreitungsrechnung mit AUSTAL2000 eine Vielzahl von Punktquellen (Brecher und Siebmaschine), Linienquellen (Fahrwege) und Flächenquellen (unbewachsene Haldenbereiche und Brechgut), deren Emissionen nicht quantifiziert werden können.

Nach der Ermittlung der Quellstärken erfolgte die Ausbreitungsrechnung für zwei Emissionssituationen unter Verwendung von AUSTAL2000. Für den bestimmungsgemäßen Normalbetrieb wird, bei einer Hintergrundkonzentration von $72 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (MP1), in einer Entfernung von 300 m zum Brecher der Bauschuttrecyclinganlage lediglich eine zusätzliche Staubkonzentration von $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ errechnet. Die Staubdeposition in einer Entfernung von 500 m beträgt $330 \text{ mg/m}^2\text{a}$.

Im Gegensatz dazu wird für den Betrieb ohne Bewässerung der Fahrwege, bei einer Hintergrundkonzentration von $39 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (MP5), die zusätzliche Staubkonzentration von $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ noch in einer Entfernung von 500 m zum Brecher errechnet. Die Staubdeposition in einer Entfernung von 500 m beträgt $3.600 \text{ mg/m}^2\text{a}$. Trotz der größeren im Umfeld deponierten Staubmasse wird deutlich, dass ein Großteil der emittierten Staubfracht auf dem Gelände der Bauschuttrecyclinganlage verbleibt.

Für die Beschreibung der Immissionen einer Bauschuttrecyclinganlage sollte auf die Ergebnisse der Immissionsprognose 1 zurückgegriffen werden, da in die Bestimmung der Quellstärken sowohl Sommerwetter als auch Schlechtwetterperioden und Zeiten hoher sowie niedriger Arbeitsaktivität einfließen. Immissionsprognose 2 hingegen stellt ein absolutes Maximum dar.

Die verwendeten Quellstärken kommen im Zusammenspiel von hohen Temperaturen, hohem Anlieferungsauflkommen, großem Brecherdurchsatz und bei Verzicht auf die Bewässerung der Fahrwege zustande und sind für die durchschnittlichen Emissionsverhältnisse eines ganzen Jahres nicht repräsentativ.

Beobachtungen während der Messungen zeigen, dass neben den Verwehungen von trockenen Halden vor allem der Fahrbetrieb (LKW und Radlader) zur Aufwirbelung von Staub beiträgt. Als günstigste Maßnahme zur Reduktion der Emissionen einer Bauschuttrecyclinganlage ist daher die Sicherstellung nasser Fahrwege anzusehen.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Messwerte und Berechnungsergebnisse

Messkampagne	Grimm, MP7	APS 3321, MP2	AERAS- Nieder- druck-impaktor, MP7	GMU- Kaskaden- impaktor JOHNAS II, PM10, MP7	AUSTAL 2000, MP7
#1	1,03 mg/m ³	x	200 µg/m ³	x	x
#2.1	0,27 mg/m ³	27 µg/m ³	60 µg/m ³	190 µg/m ³	291 µg/m ³
#2.2		18 µg/m ³	40 µg/m ³	600 µg/m ³	
#2.3	0,36 mg/m ³	93 µg/m ³	50 µg/m ³	220 µg/m ³	
#2.4		330 µg/m ³	50 µg/m ³	280 µg/m ³	
#3.1	2,06 mg/m ³	127 µg/m ³	520 µg/m ³	x	579 µg/m ³
#3.2	2,87 mg/m ³	734 µg/m ³	1430 µg/m ³	x	

Die Messergebnisse zeigen die Unterschiede der verwendeten Messmethoden auf. Während mittels der Kaskadenimpaktoren und dem Streulicht- Messgerät stationär gemessen wurde, bilden die Messwerte mittels der speziellen Messeinrichtung und dem APS einen guten Mittelwert der verursachten Emission ab. Auf Grund der Nähe zum Brecher fallen hier kurzzeitige Staubspitzen stärker

ins Gewicht und können letztendlich dem Produktionsbetrieb mit seinen unterschiedlichen Phasen nicht direkt zugeordnet werden. Durch die verwendete Methodik konnte die Emission als Linien-Quelle abgebildet werden mit einer zugehörigen Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Die lokalen Messwerte stellen daher eher Messwerte im Sinne von Arbeitsplatzmessungen, nicht aber Messwerte für eine Emissionskonzentration dar. Schlussendlich werden allerdings im Rahmen der Ausbreitungsrechnung für die maximalen Konzentrationen über den Jahresgang Konzentration in dieser Größenordnung ausgegeben. Dies unterstreicht die Plausibilität der Ergebnisse.

10 Nachrechnung der Messergebnisse nach VDI 3790 Blatt 3

10.1 Gründe für die Nachrechnung und das ausgewählte Rechenmodell

Bauschuttrecyclinganlagen bedürfen in der Regel einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach Nr. 8.11 Spalte 2 b) bb) der 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (4. BImSchV). Im Genehmigungsverfahren ist es u. a. erforderlich, mittels einer Staubimmissionsprognose nachzuweisen, dass entsprechend § 5 Absatz 1 Nr. 2 Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen durch Feinstaubemissionen getroffen wird.

Da zum Zeitpunkt der Genehmigung die Anlagen nicht errichtet sind, macht es sich erforderlich, die Quellstärken über bereits verfügbare Regelwerke zu bestimmen. Als wesentliche Quelle dient dabei die VDI 3790 – Blatt 3 (Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern), welche im Januar 2010 neu veröffentlicht wurde.

Ziel der Nachrechnung war es deshalb zu prüfen, ob mit einer Emissionsprognose nach TA Luft Anhang 3 auf Basis der Emissionsfaktoren nach der VDI 3790 Blatt 3 ein ausreichender Nachweis vorhanden ist, dass die Forderungen des § 5 Absatz 1 Nr. 2 BImSchG erfüllt werden oder nicht.

Dazu wurden die Ergebnisse der Messungen von zwei ausgewählten Messtagen mit den Rechenergebnissen verglichen. Als Rechenmodell kam das Programm AUSTAL2000, welches den Forderungen des Anhangs 3 der TA Luft entspricht, zum Einsatz.

10.2 Festlegung des Quellenplans und Referenzmesspunkte

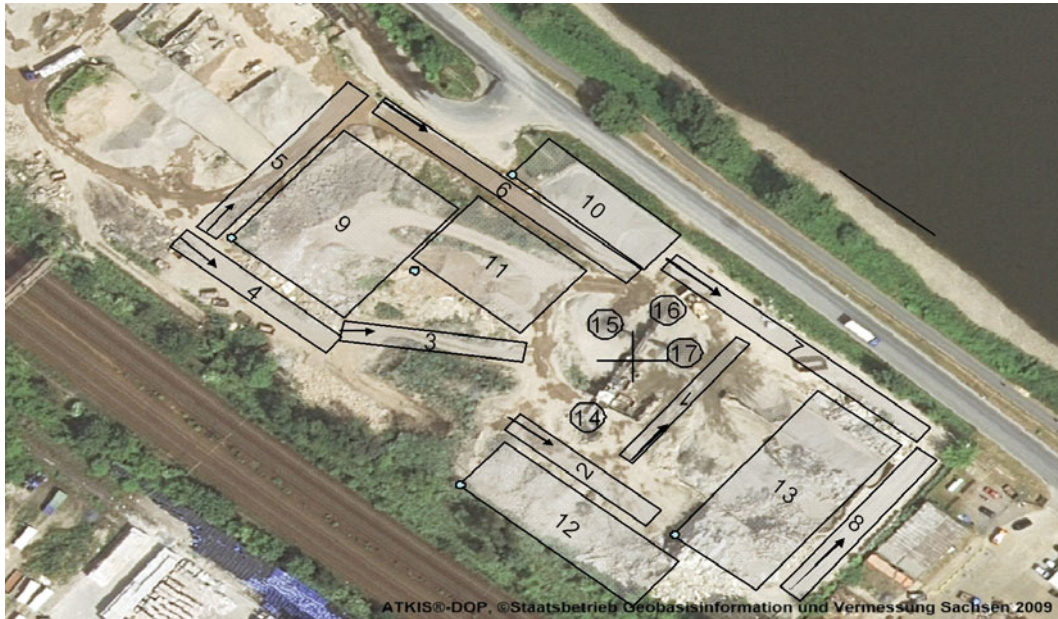


Abbildung 60: Quellenplan

Die Abbildung 60 zeigt die Emissionsquellen in der untersuchten Bauschuttrecyclinganlage während des Messzeitraumes. Die Quellen wurden durch Mitarbeiter der Fa. ILK Dresden, welche zu den jeweiligen Messungen anwesend waren, festgelegt. Dazu wurden die jeweiligen Koordinaten, die Art der Quelle und die Lage, wie in Tabelle 10 dargestellt, ermittelt. Die Tabelle bildet die Grundlage für alle späteren Berechnungen und orientiert sich an der VDI 3790 Blatt 3.

Die Festlegung des Quellenplans erfordert deshalb immer eine ausreichende Ortskenntnis. In diesem Zusammenhang soll auch auf die Zusatzquelle 04.06.2009 hingewiesen werden. Diese Quelle wurde eingeführt, weil sich im Rahmen der Nachrechnung für den 04.06.2009 große Abweichungen zwischen den Mess- und Rechenergebnissen ergeben haben. Daraufhin erfolgte eine Überprüfung der Messergebnisse sowie der Vorortbedingungen am 04.06.2009, wo erhöhte Fahrzeugbewegungen in der Nähe zu Messpunkt 3 festgestellt wurden.

Am 04.06.2009 befand sich außerdem ein zweiter Brecher mit Siebmaschine im Einsatz. Da dieser aber bewässert wurde und nur zu Teilzeiten in Betrieb war, wurde er als Quelle nicht berücksichtigt.

Als Vergleichsmesspunkte wurden die Punkte 1 – 6 der Abbildung 61 gewählt, da für diese Punkte die Tagesstaubmengen vorlagen (siehe auch Abbildung 60). Der Messpunkt 7 als Referenzmesspunkt in unmittelbarer Nähe zum Brecher 1 wurde nicht mit betrachtet.

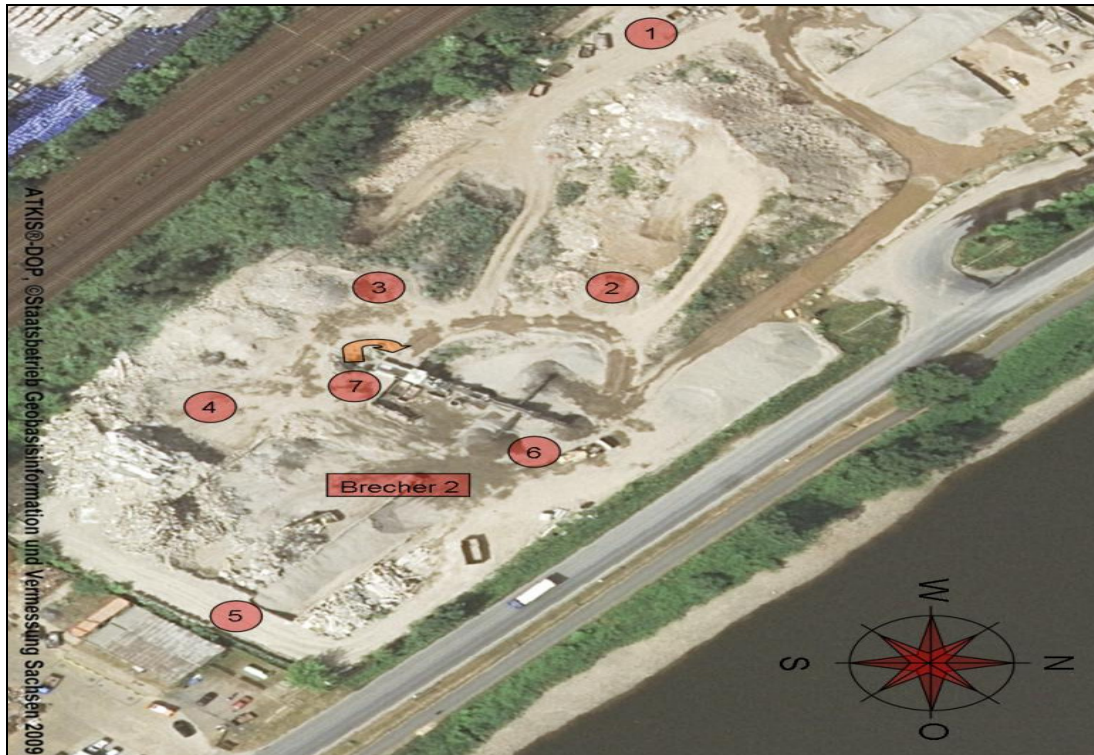


Abbildung 61: Mess- und Rechenpunkte

Tabelle 10: Quellen der Bauschuttrecyclinganlage Karl Köhler GmbH & Co. KG

Linienquellen/Fahrwege				
	X-Koordinate	Y-Koordinate	Länge	Drehwinkel
1 (meist bewässert)	-2 m	-24 m	39 m	50°
2 (meist unbewässert)	-26 m	-16 m	39 m	320°
3 (meist unbewässert)	-61 m	7 m	39 m	352°
4 (meist unbewässert)	-94 m	31 m	42 m	320°
5 (meist bewässert)	-88 m	33 m	49 m	50°
6 (meist bewässert)	-53 m	66 m	69 m	320°
7 (meist unbewässert)	7 m	26 m	69 m	320°
8 (meist unbewässert)	33 m	-61 m	46 m	50°
Zusatzquelle	-36 m	-18 m	24 m	360

Flächenquelle/Halden					
	X-Koordinate	Y-Koordinate	Breite x	Länge y	Drehwinkel
9 ungebrochenes Material	-83 m	31 m	31 m	37 m	320°
10 gebrochenes Material	-26 m	48 m	37 m	12 m	320°
11 ungebrochenes Material	-46 m	24 m	29 m	21 m	320°
12 ungebrochenes Material	-37 m	-33 m	48 m	15 m	320°
13 ungebrochenes Material	9 m	-46 m	22 m	48 m	320°
Punktquellen/Brecherbeschickung + -abwurf					
	X-Koordinate	Y-Koordinate			
14 Beschickung (trocken)	-9	-15			
15 Abwurf (befeuchtet)	-5	9			
16 Abwurf (befeuchtet)	7	13			
17 Abwurf (befeuchtet)	11	2			

10.3 Festlegung der Rechentage

Für die Anlage ist der maximale Durchsatz ca. 120 t/h bekannt. Es wurde deshalb so vorgegangen, dass aus den Messkampagnen jeweils ein Tag mit Maximaldurchsatz ausgewählt wurde. Die Messkampagne 1 wurde dabei auf Grund der Windstille während der Messungen nicht betrachtet. Für die Messkampagne 2 wurde der 04.06.2009 und für die Messkampagne 3 der 01.09.2009 ausgewählt.

10.4 Ermittlung der Emissionsfaktoren nach VDI 3790 Blatt 3

Die Emissionsfaktoren nach der VDI 3790 Blatt 3 wurden auf Basis der Gleichungen 5, 7, 8, 14 und 15 nur für die PM₁₀ Fraktion ermittelt und auch die Nachrechnung erfolgte nur für diese Fraktion. Hintergrund dafür ist, dass im Rahmen der Genehmigungspraxis i. d. R. nur der Nachweis für PM₁₀ erbracht werden muss und das bei Flächen- und Punktquellen eine Differenzierung der Emissionsfaktoren zwischen PM_{2,5} und PM₁₀ durch die VDI 3790 Blatt 3 nicht gegeben ist. Grundlage für die Festlegung der Emissionsfaktoren bildete die maximale Durchsatzleistung der Anlage, aufgeteilt auf sechs Fahrzeuge pro Stunde und die jeweiligen Beschickungs- und Abwurfleistungen. Folgende Kenngrößen wurden bestimmt:

Linienquellen/Fahrwege

- k_{Kgv}** = Faktor zur Berücksichtigung der Korngrößenverteilung (siehe Tabelle 7, VDI 3790 Blatt 3)
S = Feinkornanteil des Straßenmaterials (= Massenanteil der Korngrößen < 75 µm, bezogen auf die Gesamt-Staubbelastung - siehe Tabelle 8 VDI 3790 Blatt 3)
A = korngrößenabhängiger Exponent (siehe Tabelle 7, VDI 3790 Blatt 3)
B = Exponent (siehe Tabelle 7, VDI 3790 Blatt 3)
W = mittlere Masse der Fahrzeugflotte in t

Flächenquellen/Halden

- V_w** = Windgeschwindigkeit
d₅₀ = mittlere Korngröße in mm
k_f = dimensionsloser Korrekturfaktor für die Materialfeuchte
p_k = Korndichte des Schüttguts in g/cm³
tan α = Tangens des Böschungswinkels der Schüttung
C_A = dimensionslose Kennzahl für die Schüttung

Punktquellen Brecherbeschickung/-abwurf

- pS** = Schüttdichte in t/m³
q_{norm} = normierter Emissionsfaktor in g/t_{Gut}* m³/t
k_U = Umfeldfaktor (dimensionslos)
k_{Reib} = Faktor gemäß Einfluss von Reibung und Neigung im Rohr Tabelle 5 VDI 3790 Blatt 3

In den nachfolgenden Tabellen sind die verwendeten Werte und Kenngrößen aufgeführt:

Tabelle 11: Emissionen Linienquellen/Fahrwege

Quell. Nr.	k _{Kgv}	S %	a	W t	b	g/ (m²FZ) unbewässert	FZ/h	Fahrweg m	g/h	PM10 g/s
1	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	39	176,4	0,0490
2	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	39	176,4	0,0490
3	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	39	176,4	0,0490
4	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	42	190,0	0,0528
5	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	49	221,7	0,0616
6	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	69	312,1	0,0867
7	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	69	312,1	0,0867
8	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	6	46	208,1	0,0578
Zusatz	0,42	8,50	0,90	19,75	0,45	0,75	10	24	181,0	0,0503

Tabelle 12: Emissionen Flächenquellen/Halden

	v_w m/s	d_{50} mm	k_f	p_k /cm³	$\tan \alpha$	C_A	$g/(m^2 \cdot h)$	a m	b m	A m²	PM10 g/s
9 ungebrochenes Material	4	0,5	1,5	2	1	0,07	0,07	31	37	1147	0,0209
10 gebrochenes Material	4	0,5	1,5	1,4	1	0,52	1,78	37	12	444	0,2191
11 ungebrochenes Material	4	0,5	1,5	2	1	0,07	0,07	29	21	609	0,0111
12 ungebrochenes Material	4	0,5	1,5	2	1	0,07	0,07	48	15	720	0,0131
13 ungebrochenes Material	4	0,5	1,5	2	1	0,07	0,07	22	48	1056	0,0193

Tabelle 13: Emissionen Punktquellen/Brecherbeschickung und -abwurf

	pS i- t/m³	k_U	q_{norm} - g/t _{gut} / (t/m³)	Gl.8,S.23 g/t _{gut}	PM10 t/h g/s	
14 Beschickung (trocken)	2,0	0,8	10	16,0	100	0,4444
	pS t/m³	k_U	q_{norm} g/t _{gut} / (t/m³)	k_{Reib} Gl.10-1,2,S.24 g/t _{gut}		
15 Abwurf (befeuchtet)	2,0	0,8	8,0	0,00	15,9	0,1461
16 Abwurf (befeuchtet)	2,0	0,8	8,0	0,00	15,9	0,1461
17 Abwurf (befeuchtet)	2,0	0,8	8,0	0,00	15,9	0,1461

10.5 Anpassung der Winddaten an den Standort und die Rechentage sowie die Rechenzeiten

Um die Ausbreitungsrechnung mittels AUSTAL2000 durchführen zu können, wurde eine Datei mit den entsprechenden Winddaten benötigt. Es wurde deshalb für den 04.06.2009 und den 01.09.2009 eine repräsentative Tageszeitreihe mit stündlichen Werten (AKTerm) von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsclassse erarbeitet. Dazu wurden die während der Messung aufgenommenen Winddaten bezüglich Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die Ausbreitungsclasssen für die Messtage verwendet.

Nachfolgend sind die für die AKTerm verwendeten Werte dargestellt:

04.06.2009

- Windgeschwindigkeit: 6,0 Knoten im Mittel
- Windrichtung: 280 ° von Nord = 0 ° Uhrzeigerrichtung = Westanströmung
- Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier: 5
- Messung 11:03 – 15:20 Uhr

01.09.2000

- Windgeschwindigkeit: 8,0 Knoten im Mittel
- Windrichtung: 100 ° von Nord = 0 ° in Uhrzeigerrichtung = OSO-Anströmung
- Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier :5 .
- Messung 10.38 – 15:17 Uhr

10.6 Ergebnisse der Rechnung, Randbedingungen

Wie bereits festgestellt, wurden die Rechnungen mittels des Rechenmodells AUSTAL2000 durchgeführt. Auf Grund der Lage des Rechengebietes konnte auf ein Geländemodell verzichtet werden. Es wurde mit einer Partikelanzahl von 32 pro s ($Q_s = 4$) und einer Oberflächenrauigkeit von 1,5 gerechnet. Die genauen Eingabeparameter sind der Anlage 14.10 zu entnehmen.

Die Rechnungen wurden zum einen - wie im Antragsverfahren üblich - mit den im Punkt 10.4 dargelegten Emissionen für die Quellen durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Punkt 10.6.1 dargestellt. An den jeweiligen Messtagen lagen aber insbesondere hinsichtlich der Bewässerung einzelner Quellen teilweise andere Bedingungen vor. So wurde z. B. über die Reifenwaschanlage Wasser eingetragen und es fand teilweise eine Bewässerung von Fahrwegen und Einzelflächen mittels eines Radladers statt. Es wurde deshalb eine Reduzierung der Quellstärken mit dem Ziel, eine Annäherung der Rechenergebnisse an die Messergebnisse zu erreichen, vorgenommen. Ähnlich ist es z. B. im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie /8/ dargelegt. Für den 04.06.2009 musste außerdem eine zusätzliche Quelle in der Nähe des Messpunktes 3 eingeführt werden. Im Rahmen der Kontrolle der Vorortbedingungen am 04.06.2009 wurde festgestellt, dass an diesem Tag erhöhte Fahrzeugbewegungen in der Nähe des Messpunktes 3 stattfanden.

Die Ergebnisse der Rechnung mit den modifizierten Quellen werden in Punkt 10.6.2 dargestellt.

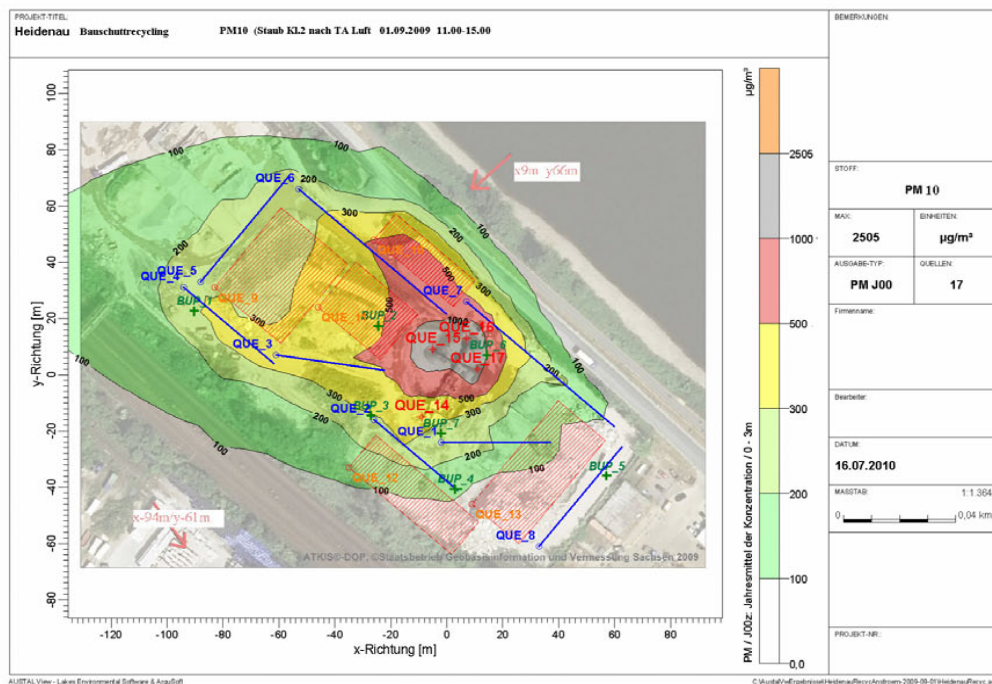


Abbildung 62: Ergebnis der Ausbreitungsrechnung für den 01.09.2009

10.6.1 Ergebnisse nach VDI 3790 Blatt 3

10.6.1.1 Ergebnisse für den 04.06.2009

Tabelle 14: Rechenergebnisse für den 04.06.2009 ohne Modifikation

04.06.2009			Quellen	
PM10			VDI 3790Bl.3	
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			Linienquellen	
			unbewässert	
Messpunkt	Messung		Rechnung	Abw. %
1	150		241	61
2	307		281	-8
3	815		338	-59
4	405		622	54
5	375		564	50
6	75		1782	2276

Die Tabelle 14 zeigt Ergebnisse für den 04.06.2009 ohne Quellmodifikation in Gegenüberstellung zu den Tagesmesswerten an den jeweiligen Messpunkten. Bis auf den Messpunkt 3 lagen die Messwerte unter oder im Bereich der Rechenwerte.

Für den Messpunkt 3 wurde, wie bereits dargelegt, die Ursache für die erhebliche Unterschätzung in den nicht berücksichtigten Fahrzeugbewegungen in der Nähe des Messpunktes 3 gesehen. Ebenfalls auffallend ist die sehr hohe Überschätzung am Messpunkt 6.

10.6.1.2 Ergebnisse für den 01.09.2009

Im Unterschied zum 04.06.2009 sind für die berechneten Werte in Tabelle 15 kaum Unterschätzungen der Messwerte festzustellen. Für viele Messpunkte wurden die Emissionen teilweise erheblich überschätzt. Ursache dafür könnte der teilweise vollständige Verzicht auf eine Bewässerung am 01.09. sein, welche rechnerisch nur schwer abzubilden ist und zur Überschätzung führt.

Unter dem Gesichtspunkt der Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen ist es aber positiv zu sehen, dass die zu erwartenden Emissionen nicht unterschätzt werden.

Tabelle 15: Rechenergebnisse für den 01.09.2009 ohne Modifikation

Messpunkt	01.09.2009 PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Quellen VDI 3790 Bl.3 Linienquellen bewässert	
	Messung		Rechnung	Abw. %
1	240		487	103
2	700		669	-4
3	240		813	239
4	55		341	520
5	40		144	260
6	645		868	35

10.6.2 Anpassung der Rechnung durch Variation der Quellen

10.6.2.1 Ergebnisse für den 04.06.2009

Tabelle 16: Rechenergebnisse für den 04.06.2009 mit Modifikation

04.06.2009			Quellen nach VDI 3790Bl.3, verändert:	
PM10			Quellen 4*0,5 (teilbewässert); Quelle 14 *0,25 teilbewässert, Quellen 1,7, 15-17 * 0 (bewässert),	
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			+ Zusatzquelle 0,05 g/s PM10	
			Rest unbewässert	
Messpunkt	Messung		Rechnung	Abw. %
1	150		146	-3
2	307		209	-32
3	815		978	20
4	405		436	8
5	375		345	-8
6	75		233	211

In einer zweiten Rechnung wurde versucht, durch Anpassung der Quellen dem tatsächlichen Messergebnis nahezukommen. Dazu wurde von einer Bewässerung der Fahrwege 1, 7 und des Brecherabwurfbereiches, einer Teilbewässerung des Fahrweges 4, des Brecherbeschickungsbereiches sowie der schon erwähnten Zusatzquelle für die Fahrzeugbewegungen in der Nähe von Messpunkt 3 ausgegangen. Die restlichen Quellen wurden als unbewässert angesehen.

Diese Betriebsbedingungen sind nicht unrealistisch. Die Befeuchtung des gelagerten Materials ist sicher häufig nicht gegeben und das für die Beschickung vorgesehene Material (14) kann durchaus auf Grund der Bewässerung mittels Radlader teilweise feucht gewesen sein. Das gebrochene Material wurde befeuchtet lt. Quellenplan (15, 16, 17) und eine unterschiedliche Befeuchtung der Fahrwege auf Grund der Radladerbewässerung ist durchaus möglich.

Die Rechnung (Tabelle 16) zeigt, dass bei Annahme dieser Betriebsbedingungen eine wesentlich bessere Übereinstimmung zwischen den Messungen und der Rechnung erreicht wird. Zwar liegen teilweise mehr Unterschätzungen der Messwerte vor, die Abweichungen sind aber wesentlich geringer.

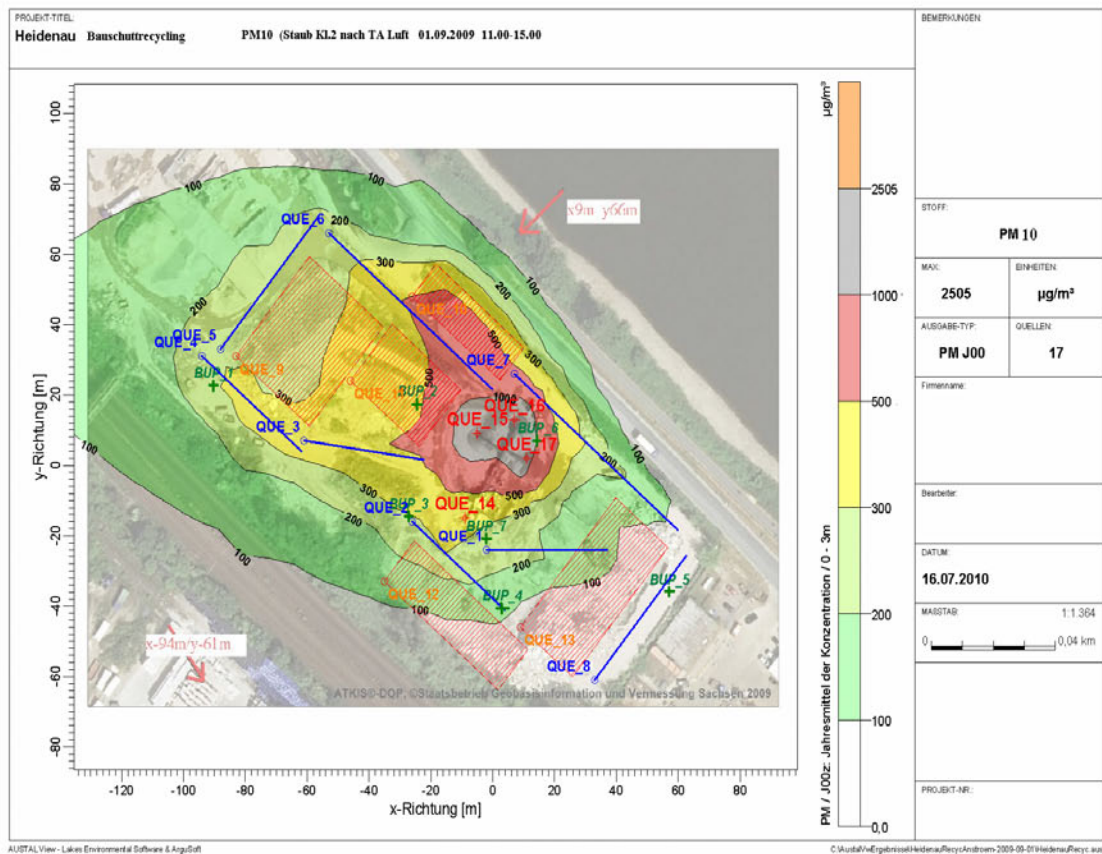


Abbildung 63: Ergebnis der modifizierten Ausbreitungsrechnung für den 04.06.2009

Ergebnisse für den 01.09.2009

Tabelle 17: Rechenergebnisse für den 01.09.2009 mit Modifikation

01.09.2009			Quellen nach VDI 3790 Bl.3, verändert:	
PM10			Quellen 1-3, 5, 7, (bewässert), Quelle 8*0,3 (teilbewässert), Quellen 12-14*0,25 (teilbewässert), Rest unbewässert	
µg/m³			Rest unbewässert	
Messpunkt	Messung		Rechnung	Abw. %
1	240		179	-25
2	700		510	-27
3	240		267	11
4	55		51	-7
5	40		47	18
6	645		646	0

Auch für den 01.09. wurde ein Szenario gerechnet, welches den gemessenen Werten relativ nahe kommen soll (Tabelle 17). Schwierig ist dabei, dass dieses Szenario mit den zunächst angenommenen Betriebsbedingungen am 01.09.2009 (keine Bewässerung außer teilweise Quellen 15 – 17) nicht übereinstimmt.

Eine mögliche Ursache könnte daran liegen, dass in der Nacht zum 26.08. und am 26.08. Tiefausläufer die Region ostwärts überquerten. Es kam zu Schauern und Gewittern, die dem Mittelsächsischen Hügelland und dem Erzgebirge Tagessummen von 15 bis 25 mm, örtlich auch darüber, brachten /9/. Außerdem wurde an allen anderen Tagen mit Befeuchtung der Fahrwege in der Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau gearbeitet. Es ist also davon auszugehen, dass trotz höherer Temperaturen am Messtag und nicht durchgeführter Bewässerung der Fahrwege nicht alle Wege und Flächen gleichmäßig abgetrocknet waren.

10.7 Auswertung der Nachrechnung und Zusammenfassung

Ziel der Nachrechnung war es zu prüfen, ob mit einer Emissionsprognose nach TA Luft Anhang 3 auf Basis der Emissionsfaktoren nach der VDI 3790 Blatt 3 ein ausreichender Nachweis vorhanden ist, dass die Forderungen des § 5 Absatz 1 Nr. 2 BImSchG erfüllt werden.

Anhand der durchgeführten Rechnungen kann eingeschätzt werden, dass bei Anwendung eines Rechenmodells nach Anhang 3 der TA Luft (im vorliegenden Fall AUSTAL2000) auf Basis der Emissionsfaktoren nach der VDI 3790 Blatt 3 ein ausreichender Nachweis geführt werden kann, ob mit der Errichtung oder der Erweiterung einer Bauschuttrecyclinganlage die Forderungen des § 5 Absatz 1 Nr. 2 BImSchG erfüllt sind.

Auch im Rahmen von Anwohnerbeschwerden ist dies möglich. In diesen Fällen könnte zusätzlich auch durch eine orientierende Messung auf Basis des in Heidenau eingesetzten mobilen Messsystems eine Validierung der Rechenergebnisse erfolgen. Auch eine gezielte Simulation der Beeinflussung einzelner Quellen (Bewässerung, Einhausung ...) zur Verbesserung der Situation wäre möglich.

Wichtig dabei ist aber, dass die Festlegung der Quellen (Lage der Quellen, Quellstärke, Anzahl), der Randbedingungen (Geländeform, Windklassenstatistik, Niederschläge) und auch der Betriebsbedingungen (Betriebszeiten, Bewässerungen) realistisch erfolgt.

Die Forderungen der VDI 3783 Blatt 13 (Umweltmeteorologie Qualitätssicherung in der Immissionsprognose-Anlagenbezogener Immissionsschutz-Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft) sind zu beachten. So kann insbesondere die falsche Auswahl der Winddaten, des Geländemodells, der Geländerauigkeit aber auch der Qualitätsstufe zu falschen Ergebnissen führen.

Auch bei der richtigen Auswahl dieser Parameter führt die Rechnung u. U. zu einem falschen Ergebnis, wenn Quellen vergessen werden oder die Bewässerung insbesondere der Fahrwege falsch eingeschätzt wird. Dies wird an verschiedenen Beispielen deutlich.

In der ersten Rechnung am 04.06 wurden z. B. die häufigeren Fahrzeugbewegungen in der Nähe des Messpunktes 3 nicht beachtet, was zu einer erheblichen Unterschätzung der Situation am Messpunkt 3 führte. Eine Rechnung mit einer Zusatzquelle, welche die tatsächliche Situation widerspiegelt, führte dann zu einer wesentlich besseren Einschätzung der Situation.

Am 01.09. wiederum wurde beispielsweise von trockenen Fahrwegen und Flächen ausgegangen. Geht man aber von einer teilweisen Befeuchtung einzelner Quellen aus, so stimmen Rechnung und Messung wesentlich besser überein.

Im Rahmen von Staubimmissionsprognosen für Genehmigungsverfahren nach BImSchG sind die Staubemissionsquellen, für welche die Prognose erstellt wird, in der Regel nicht vorhanden. Es kommt deshalb aus Sicht des LfULG dort insbesondere darauf an, die zukünftigen Emissionsquellen exakt festzulegen und bei der Berücksichtigung der Bewässerung eher konservativ vorzugehen. Bewässerung sollte nur dort mit eingerechnet werden, wo diese über eine entsprechende Betriebstechnik dauerhaft sichergestellt ist. Dies führt zwar möglicherweise zu einer Überschätzung der tatsächlichen Staubemissionen, sichert aber die Einhaltung des Vorsorgegrundsatzes.

Bei zukünftigen Untersuchungen kommt es im Wesentlichen darauf an, die am Messtag vorhandenen Bedingungen noch besser zu erfassen. So sollten nicht nur die Wind- und Temperaturverhältnisse, die Fahrzeugbewegungen, Art der Fahrzeuge, Brecherdurchsatz u. a. erfasst werden, sondern auch die exakten Korngrößen des gebrochenen Materials und die Materialfeuchte. Mit diesen Daten lässt sich der tatsächliche Verlauf der Staubemissionen sicher noch besser und genauer nachvollziehen.

11 Literaturverzeichnis

- /1/-VDI 2066 BLATT5 (1994): Staubmessung in strömenden Gasen – Fraktionierende Staubmessung nach dem Impaktionsverfahren - Kaskadenimpaktor. VDI - Richtlinien, Verein Deutscher Ingenieure, Seite 4
- /2/-GRIMM (2004): Handbuch Laseraerosolspektrometer der Serie 1.100, Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG
- /3/-TSI MANUAL (2006): Aerosol Instrument Manager® Software for Aerodynamic Particle Sizer® (APS™) Spectrometers – User's Manual, ©TSI Incorporated
- /4/-ILK 2003 (2003): Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk, Institut für Luft- und Kältetechnik
- /5/-ILK 2009 (2009): Ermittlung von Emissionsfaktoren für (Fein)Staub aus Bauschuttrecyclinganlagen – 1. Zwischenbericht, Institut für Luft- und Kältetechnik

- /6/-MÖLLER (2003): Luft. Chemie – Physik – Biologie – Reinhaltung – Recht, Kapitel 3: Deposition von Spurenstoffen, http://www.luft.tu-cottbus.de/scripts/pdf020415/dm_air_ch3p1.pdf
- /7/-AUSTAL (2009): AUSTAL2000 – Programmbeschreibung zu Version 2.4, Ingenieurbüro Janicke, Dunum
- /8/-HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE; Braun, Richter, van der Pütten: „Ermittlung der Staubemissionen und -immissionen in der Umgebung einer Anlage zur Lagerung, zum Umschlag und zur Aufbereitung von staubenden Gütern“
- /9/-SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE: „Analyse und Prognose der meteorologisch-hydrologischen Situation in Sachsen - August 2009“

12 Anhang

12.1 Protokoll Dichtebestimmung

Meßblatt 1

BERECHNUNG DER DICHT BEI VERWENDUNG DES MESSBECHERS $V = 5 \text{ cm}^3$

Analysen-Nr.: 1734 14.09.09 Birnbäum

Probematerial: Staub Bauschuttrecycling

Einwaage: 1,28624 g Arbeitsdruck p : 18 bar

Schalterposition am Pyknometer: <5;<35

MESSUNG 1

$P_1 = 19,717$
 $P_2 = 10,632$

MESSUNG 2

$P_1 = 19,577$
 $P_2 = 10,560$

BERECHNUNG

1. $V_{\text{SAMP}} = V_{\text{CELL}} - \left[\frac{V_{\text{EXP}}}{\left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right)} \right]$

$V_{\text{SAMP}} = 7,829 - \left[\frac{6,274}{\left(\frac{19,717}{10,632} - 1 \right)} \right] = 0,4867 \text{ cm}^3$

$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,28624}{0,4867} = 2,643 \text{ g/cm}^3$

2. $V_{\text{SAMP}} = 7,829 - \left[\frac{6,274}{\left(\frac{19,577}{10,560} - 1 \right)} \right] = 0,4814 \text{ cm}^3$

$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,28624 \text{ g}}{\frac{0,4867 \text{ cm}^3 + 0,4814 \text{ cm}^3}{2}} = \frac{2,643 \text{ g/cm}^3 + 2,6719 \text{ g/cm}^3}{2}$

Mittelwert aus zwei Messungen: $\frac{2,64 \text{ g/cm}^3 + 2,66 \text{ g/cm}^3}{2}$

Abbildung 64: Protokoll Dichtebestimmung

12.2 Auswertung Laseraerosolspektrometer

Laseraerosolspektrometer 1.106	
Datum: 27.05.2009 und 28.05.2009	
Staubmasse	145 µg
Anzeige	40,3 µg
Luftvolumen	0,540 m³
Gravimetriefaktor	3,6
Mittlere Konzentration	0,27 mg/m³

Laseraerosolspektrometer 1.106	
Datum: 03.06.2009 und 04.06.2009	
Staubmasse	207 µg
Anzeige	79,7 µg
Luftvolumen	0,576 m³
Gravimetriefaktor	2,6
Mittlere Konzentration	0,36 mg/m³

Laseraerosolspektrometer 1.106	
Datum: 25.08.2009	
Staubmasse	716 µg
Anzeige	325,7 µg
Luftvolumen	0,347 m³
Gravimetriefaktor	2,2
Mittlere Konzentration	2,06 mg/m³

Laseraerosolspektrometer 1.106	
Datum: 01.09.2009	
Staubmasse	940 µg
Anzeige	548,8 µg
Luftvolumen	0,327 m³
Gravimetriefaktor	1,7
Mittlere Konzentration	2,87 mg/m³

12.3 Windgeschwindigkeit

Datum	Mittlere Windgeschwindigkeit
27.05.2009	4,04 ± 1,4 m/s
28.05.2009	3,77 ± 1,4 m/s
03.06.2009	4,72 ± 1,6 m/s
04.06.2009	3,88 ± 1,3 m/s
25.08.2009	3,75 ± 1,2 m/s
01.09.2009	3,99 ± 1,1 m/s

12.4 Emissionsfronten Messkampagne 3

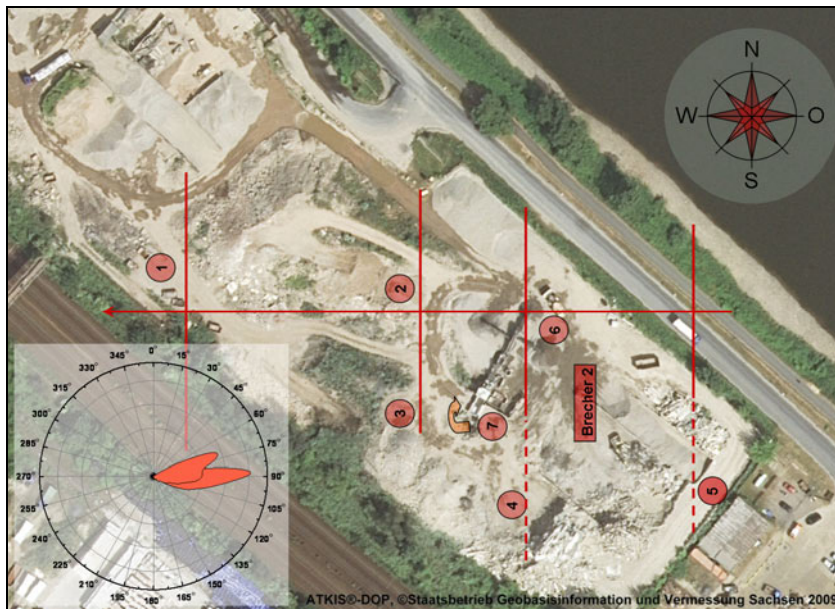


Abbildung 65: Emissionsfronten und Hauptwindrichtung, Messkampagne 3

12.5 Protokolle Berner-Kaskadenimpaktor

Kaskadenimpaktormessung	Messprotokoll Seiten: 1
	Berichtsnr.: ILK-B-33-1520

0. Allgemeine Messbedingungen		
Standort	Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau	
Datum	07.10.2008	
Material	Mineralischer Staub	
Barometerstand	999 mba	
Umgebungstemperatur	18 °C	
Relative Luftfeuchtigkeit	65 %	
Absaugzeit	3:52	
Abgesaugte Luftmenge i.N., trocken	5,27 m³	

1. Messgerät	
	11 stufiger AERAS Niederdruckimpaktor der Fa. HAUCKE Ges.m.b.H.&Co.KG

2. Messergebnisse

Stufe Nr.	Cut Diameter [µm]	Mittl. Fraktion [µm]	Leer [mg]	bestaubt [mg]	Δm [mg]
11	16				
10	8,1	12,05	90,968	91,519	0,551
9	4,1	6,1	91,248	91,396	0,148
8	2,1	3,1	91,418	91,476	0,058
7	1,1	1,6	91,476	91,516	0,04
6	0,54	0,82	91,359	91,431	0,072
5	0,27	0,405	91,209	91,268	0,059
4	0,14	0,205	90,955	91,013	0,058
3	0,07	0,105	90,342	90,387	0,045
2	0,036	0,053	90,435	90,445	0,01
1	0,018	0,027	90,86	90,862	0,002
-1	0,009	0,014	90,674	90,674	0

m_{ges}

Ci.N., trocken

1,04 mg

0,2 mg/m³

Kaskadenimpaktormessung	Messprotokoll Seiten: 1
	Berichtsnr.: ILK-B-33-1520

0. Allgemeine Messbedingungen		
	Standort	Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau
	Datum	27.05.2009
	Material	Mineralischer Staub
	Barometerstand	1011 mbar
	Umgebungstemperatur	20 °C
	Relative Luftfeuchtigkeit	45 %
	Absaugzeit	3:40
	Abgesaugte Luftmenge i.N., trocken	5,046 m³

1. Messgerät	
	11 stufiger AERAS Niederdruckimpaktor der Fa. HAUCKE Ges.m.b.H.&Co.KG

2. Messergebnisse						
	Stufe Nr.	Cut Diameter [µm]	Mittl. Fraktion [µm]	Leer [mg]	bestaubt [mg]	Δm [mg]
	11	16				
	10	8,1	12,05	86,268	86,436	0,168
	9	4,1	6,1	86,464	86,508	0,044
	8	2,1	3,1	86,15	86,169	0,019
	7	1,1	1,6	85,886	85,903	0,017
	6	0,54	0,82	86,119	86,132	0,013
	5	0,27	0,405	85,929	85,949	0,02
	4	0,14	0,205	86,47	86,484	0,014
	3	0,07	0,105	86,589	86,592	0,003
	2	0,036	0,053	86,771	86,777	0,006
	1	0,018	0,027	86,954	86,961	0,007
	-1	0,009	0,014	86,412	86,412	0
m _{ges}			0,31 mg			
Ci.N., trocken			0,06 mg/m³			

Kaskadenimpaktormessung	Messprotokoll Seiten: 1
	Berichtsnr.: ILK-B-33-1520

0. Allgemeine Messbedingungen		
Standort	Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau	
Datum	28.05.2009	
Material	Mineralischer Staub	
Barometerstand	1009 mbar	
Umgebungstemperatur	15,8 °C	
Relative Luftfeuchtigkeit	70,4 %	
Absaugzeit	4:11	
Abgesaugte Luftmenge i.N., trocken	5,86 m³	

1. Messgerät	
	11 stufiger AERAS Niederdruckimpaktor der Fa. HAUCKE Ges.m.b.H.&Co.KG

2. Messergebnisse						
Stufe Nr.	Cut Diameter [µm]	Mittl. Fraktion [µm]	Leer [mg]	bestaubt [mg]	Δm [mg]	
11	16					
10	8,1	12,05	86,987	87,074	0,087	
9	4,1	6,1	87,012	87,044	0,032	
8	2,1	3,1	85,691	85,713	0,022	
7	1,1	1,6	85,7	85,721	0,021	
6	0,54	0,82	85,823	85,844	0,021	
5	0,27	0,405	85,683	85,707	0,024	
4	0,14	0,205	85,68	85,689	0,009	
3	0,07	0,105	86,686	86,688	0,002	
2	0,036	0,053	86,52	86,52	0	
1	0,018	0,027	86,766	86,772	0,006	
-1	0,009	0,014	86,688	86,688	0	
m _{ges}		0,22 mg				
C _{i.N.} , trocken		0,04 mg/m³				

Kaskadenimpaktormessung	Messprotokoll Seiten: 1
	Berichtsnr.: ILK-B-33-1520

0. Allgemeine Messbedingungen		
	Standort	Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau
	Datum	03.06.2009
	Material	Mineralischer Staub
	Barometerstand	1003 mbar
	Umgebungstemperatur	14 °C
	Relative Luftfeuchtigkeit	57 %
	Absaugzeit	4:00
	Abgesaugte Luftmenge i.N., trocken	5,62 m³

1. Messgerät	
	11 stufiger AERAS Niederdruckimpaktor der Fa. HAUCKE Ges.m.b.H.&Co.KG

2. Messergebnisse

Stufe Nr.	Cut Diameter [µm]	Mittl. Fraktion [µm]	Leer [mg]	bestaubt [mg]	Δm [mg]
11	16				
10	8,1	12,05	86,589	86,719	0,13
9	4,1	6,1	86,425	86,465	0,04
8	2,1	3,1	86,249	86,299	0,05
7	1,1	1,6	86,605	86,637	0,032
6	0,54	0,82	86,138	86,16	0,022
5	0,27	0,405	85,989	86,007	0,018
4	0,14	0,205	85,987	85,997	0,01
3	0,07	0,105	86,06	86,066	0,006
2	0,036	0,053	86,372	86,381	0,009
1	0,018	0,027	86,69	86,69	0
-1	0,009	0,014	86,798	86,798	0

m_{ges}

Ci.N., trocken

0,32 mg

0,05 mg/m³

Kaskadenimpaktormessung	Messprotokoll Seiten: 1
	Berichtsnr.: ILK-B-33-1520

0. Allgemeine Messbedingungen		
	Standort	Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau
	Datum	04.06.2009
	Material	Mineralischer Staub
	Barometerstand	1001 mbar
	Umgebungstemperatur	14,3 °C
	Relative Luftfeuchtigkeit	47 %
	Absaugzeit	4:17
	Abgesaugte Luftmenge i.N., trocken	5,99 m³

1. Messgerät	
	11 stufiger AERAS Niederdruckimpaktor der Fa. HAUCKE Ges.m.b.H.&Co.KG

2. Messergebnisse

Stufe Nr.	Cut Diameter [µm]	Mittl. Fraktion [µm]	Leer [mg]	bestaubt [mg]	Δm [mg]
11	16				
10	8,1	12,05	86,605	86,764	0,159
9	4,1	6,1	86,843	86,88	0,037
8	2,1	3,1	87,104	87,141	0,037
7	1,1	1,6	86,618	86,643	0,025
6	0,54	0,82	85,509	85,533	0,024
5	0,27	0,405	85,619	85,637	0,018
4	0,14	0,205	85,718	85,725	0,007
3	0,07	0,105	85,503	85,504	0,001
2	0,036	0,053	86,028	86,032	0,004
1	0,018	0,027	86,377	86,377	0
-1	0,009	0,014	86,52	86,52	0

m_{ges}

0,31 mg

Ci.N., trocken

0,05 mg/m³

Kaskadenimpaktormessung	Messprotokoll Seiten: 1
	Berichtsnr.: ILK-B-33-1520

0. Allgemeine Messbedingungen

Standort	Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau
Datum	25.08.2009
Material	Mineralischer Staub
Barometerstand	999 mbar
Umgebungstemperatur	28 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	46 %
Absaugzeit	4:50
Abgesaugte Luftmenge i.N., trocken	6,24 m³

1. Messgerät
11 stufiger AERAS Niederdruckimpaktor der Fa. HAUCKE Ges.m.b.H.&Co.KG

2. Messergebnisse

Stufe Nr.	Cut Diameter [µm]	Mittl. Fraktion [µm]	Leer [mg]	bestaubt [mg]	Δm [mg]
11	16				
10	8,1	12,05	85,827	87,572	2,34
9	4,1	6,1	86,867	87,158	0,456
8	2,1	3,1	86,663	86,783	0,12
7	1,1	1,6	86,883	86,954	0,071
6	0,54	0,82	86,825	86,933	0,108
5	0,27	0,405	86,648	86,715	0,067
4	0,14	0,205	86,175	86,225	0,05
3	0,07	0,105	86,045	86,077	0,032
2	0,036	0,053	86,249	86,259	0,01
1	0,018	0,027	86,108	86,108	0
-1	0,009	0,014	86,65	86,652	0,002
m _{ges}		3,26 mg			
Ci.N., trocken		0,52 mg/m³			

Kaskadenimpaktormessung	Messprotokoll Seiten: 1
	Berichtsnr.: ILK-B-33-1520

0. Allgemeine Messbedingungen

Standort	Karl Köhler GmbH & Co. KG Recyclinggesellschaft Heidenau
Datum	01.09.2009
Material	Mineralischer Staub
Barometerstand	1003 mbar
Umgebungstemperatur	27,5 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	42 %
Absaugzeit	4:39
Abgesaugte Luftmenge i.N., trocken	6,07 m³

1. Messgerät

11 stufiger AERAS Niederdruckimpaktor der Fa. HAUCKE Ges.m.b.H.&Co.KG

2. Messergebnisse

Stufe Nr.	Cut Diameter [µm]	Mittl. Fraktion [µm]	Leer [mg]	bestaubt [mg]	Δm [mg]
11	16				
10	8,1	12,05	86,134	90,327	5,633
9	4,1	6,1	86,249	87,112	1,413
8	2,1	3,1	86,231	87,045	0,814
7	1,1	1,6	86,823	87,128	0,305
6	0,54	0,82	86,837	87,059	0,222
5	0,27	0,405	87,187	87,331	0,144
4	0,14	0,205	86,83	86,914	0,084
3	0,07	0,105	85,944	85,979	0,035
2	0,036	0,053	85,906	85,929	0,023
1	0,018	0,027	85,934	85,948	0,014
-1	0,009	0,014	85,796	85,812	0,016
m _{ges}		8,70 mg			
C _{i.N.} , trocken		1,43 mg/m³			

12.6 Messprotokolle GMU-Kaskadenimpaktor Johnas II

Ermittlung des Quarzgehaltes der PM10 und PM4- Fraktion		Messprotokoll Seiten: 1	
1. Messtag		Berichtsnr.: ILK-B-33-09-1514	
0. Allgemeines und Messbedingungen			
Standort	Bauschuttrecyclinganlage Karl Köhler GmbH & Co. KG		
Datum	27.05.2009		
Barometerstand	1011 mbar		
Umgebungstemperatur	20 °C		
relative Luftfeuchtigkeit	45 %		
1. Messgerät und Berechnungsgrundlage			
2 stufiger GMU Kaskadenimpaktor JOHNAS II (PM 10 und PM 4)			
Massenkonzentration Staub:		Massenkonzentration Quarz:	
$c(PM_4) = \frac{m(EF)}{V_n}$		$c_Q(PM_4) = \frac{m_Q(EF)}{V_n}$	
$c(PM_{10}) = \frac{m(EF) + m(SP2)}{V_n}$		$c_Q(PM_{10}) = \frac{m_Q(EF) + m_Q(SP2)}{V_n}$	
Symbole: c(PM ₄) Massenkonzentration PM4 c(PM ₁₀) Massenkonzentration PM10 c _Q (PM ₄) Quarzkonzentration PM4 c _Q (PM ₁₀) Quarzkonzentration PM10 m(EF) Staubmasse Endfilter m _Q (EF) Quarzmasse Endfilter m(SP2) Staubmasse 2. Sammelplatte m _Q (SP2) Quarzmasse 2. Sammelplatte V _n Probevolumen im Normzustand			
2. Messergebnisse			
		Staub m [mg]	Quarz m_Q [mg]
SP 1	m(SP1)	0,56	0,0546
SP 2	m(SP2)	0,13	0,0214
	Endfilter m(EF)	1,43	0,1968
	Probevolumen V	8,89 m ³	
3. Berechnungsergebnisse			
Probevolumen i.N. V _n		8,24 m ³	
Staubmassenkonzentration:			
c(PM ₄)		0,17 mg/m ³	
c(PM ₁₀)		0,19 mg/m ³	
Quarzmassenkonzentration:			
c _Q (PM ₄)		23,88 µg/m ³	
c _Q (PM ₁₀)		26,48 µg/m ³	

Ermittlung des Quarzgehaltes der PM10 und PM4 Fraktion		Messprotokoll Seiten: 1	
2. Messtag		Berichtsnr.: ILK-B-33-09-1514	
0 Allgemeines und Messbedingungen			
Standort	Bauschuttrecyclinganlage Karl Köhler GmbH & Co. KG		
Datum	28.05.2009		
Barometerstand	1009 mbar		
Umgebungstemperatur	15,8 °C		
relative Luftfeuchtigkeit	70,4 %		
1 Messgerät und Berechnungsgrundlage			
2 stufiger GMU Kaskadenimpaktor JOHNAS II (PM 10 und PM 4)			
Massenkonzentration Staub:		Massenkonzentration Quarz:	
$c(PM_4) = \frac{m(EF)}{V_n}$		$c_Q(PM_4) = \frac{m_Q(EF)}{V_n}$	
$c(PM_{10}) = \frac{m(EF) + m(SP2)}{V_n}$		$c_Q(PM_{10}) = \frac{m_Q(EF) + m_Q(SP2)}{V_n}$	
Symbole: c(PM ₄) Massenkonzentration PM4 c(PM ₁₀) Massenkonzentration PM10 c _Q (PM ₄) Quarzkonzentration PM4 c _Q (PM ₁₀) Quarzkonzentration PM10 m(EF) Staubmasse Endfilter m _Q (EF) Quarzmasse Endfilter m(SP2) Staubmasse 2. Sammelplatte m _Q (SP2) Quarzmasse 2. Sammelplatte V _n Probevolumen im Normzustand			
2 Messergebnisse			
		Staub m [mg]	Quarz m _Q [mg]
SP 1	m(SP1)	2,04	0,0162
SP 2	m(SP2)	2,24	0,009
	Endfilter	3,31	0,0256
	Probevolumen V	9,88 m³	
3 Berechnungsergebnisse			
Probevolumen i.N. V _n		9,26 m³	
Staubmassenkonzentration:			
c(PM ₄)		0,36 mg/m³	
c(PM ₁₀)		0,60 mg/m³	
Quarzmassenkonzentration:			
c _Q (PM ₄)		2,76 µg/m³	
c _Q (PM ₁₀)		3,74 µg/m³	

Ermittlung des Quarzgehaltes der PM10 und PM4 Fraktion		Messprotokoll Seiten: 1	
3. Messtag		Berichtsnr.: ILK-B-33-09-1514	
0. Allgemeines und Messbedingungen			
Standort	Bauschuttrecyclinganlage Karl Köhler GmbH & Co. KG		
Datum	03.06.2009		
Barometerstand	1003 mbar		
Umgebungstemperatur	14 °C		
relative Luftfeuchtigkeit	57 %		
1. Messgerät und Berechnungsgrundlage			
2 stufiger GMU Kaskadenimpaktor JOHNAS II (PM 10 und PM 4)			
Massenkonzentration Staub:		Massenkonzentration Quarz:	
$c(PM_4) = \frac{m(EF)}{V_n}$		$c_Q(PM_4) = \frac{m_Q(EF)}{V_n}$	
$c(PM_{10}) = \frac{m(EF) + m(SP2)}{V_n}$		$c_Q(PM_{10}) = \frac{m_Q(EF) + m_Q(SP2)}{V_n}$	
Symbole: <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> c(PM₄) Massenkonzentration PM4 c_Q(PM₄) Quarzkonzentration PM4 m(EF) Staubmasse Endfilter m(SP2) Staubmasse 2. Sammelplatte V_n Probevolumen im Normzustand </div> <div> c(PM₁₀) Massenkonzentration PM10 c_Q(PM₁₀) Quarzkonzentration PM10 m_Q(EF) Quarzmasse Endfilter m_Q(SP2) Quarzmasse 2. Sammelplatte </div> </div>			
2. Messergebnisse			
		Staub m [mg]	Quarz m _Q [mg]
SP 1	m(SP1)	0,74	0,0198
SP 2	m(SP2)	0,52	0,0182
	Endfilter	1,51	0,1377
	Probevolumen V	10,01 m³	
3. Berechnungsergebnisse			
Probevolumen i.N. V _n		9,40 m³	
Staubmassenkonzentration:			
c(PM ₄)		0,16 mg/m³	
c(PM ₁₀)		0,22 mg/m³	
Quarzmassenkonzentration:			
c _Q (PM ₄)		14,65 µg/m³	
c _Q (PM ₁₀)		16,59 µg/m³	

Ermittlung des Quarzgehaltes der PM10 und PM4 Fraktion		Messprotokoll Seiten: 1	
4. Messtag		Berichtsnr.: ILK-B-33-09-1514	
0. Allgemeines und Messbedingungen			
Standort	Bauschuttrecyclinganlage Karl Köhler GmbH & Co. KG		
Datum	04.06.2009		
Barometerstand	1001 mbar		
Umgebungstemperatur	14,3 °C		
relative Luftfeuchtigkeit	47 %		
1. Messgerät und Berechnungsgrundlage			
2 stufiger GMU Kaskadenimpaktor JOHNAS II (PM 10 und PM 4)			
Massenkonzentration Staub: $c(PM_4) = \frac{m(EF)}{V_n}$ $c(PM_{10}) = \frac{m(EF) + m(SP2)}{V_n}$		Massenkonzentration Quarz: $c_Q(PM_4) = \frac{m_Q(EF)}{V_n}$ $c_Q(PM_{10}) = \frac{m_Q(EF) + m_Q(SP2)}{V_n}$	
Symbole: c(PM ₄) Massenkonzentration PM4 c(PM ₁₀) Massenkonzentration PM10 c _Q (PM ₄) Quarzkonzentration PM4 c _Q (PM ₁₀) Quarzkonzentration PM10 m(EF) Staubmasse Endfilter m _Q (EF) Quarzmasse Endfilter m(SP2) Staubmasse 2. Sammelplatte m _Q (SP2) Quarzmasse 2. Sammelplatte V _n Probevolumen im Normzustand			
2. Messergebnisse			
		Staub m [mg]	Quarz m_Q [mg]
SP 1	m(SP1)	0,86	0,0109
SP 2	m(SP2)	0,98	0,01
	Endfilter m(EF)	1,89	0,0349
	Probevolumen V	11,06 m ³	
3. Berechnungsergebnisse			
	Probevolumen i.N. V _n	10,36 m ³	
Staubmassenkonzentration:			
	c(PM4)	0,18 mg/m³	
	c(PM10)	0,28 mg/m³	
Quarzmassenkonzentration:			
	c _Q (PM4)	3,37 µg/m³	
	c _Q (PM10)	4,33 µg/m³	

12.7 Flugzeitspektrometer Messergebnisse

27.05.2009

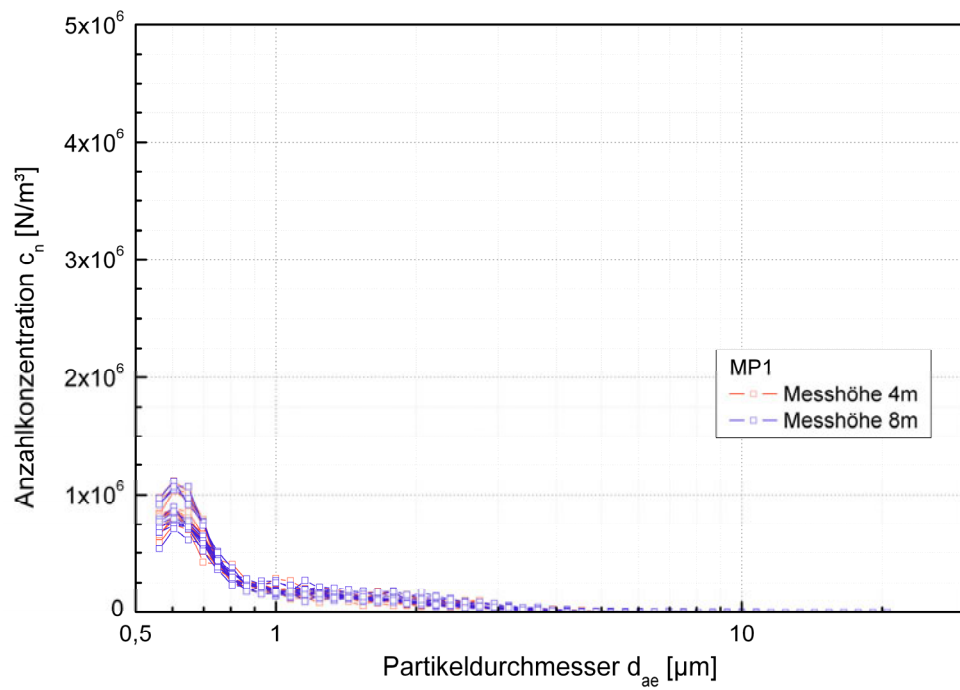


Abbildung 66: (27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1

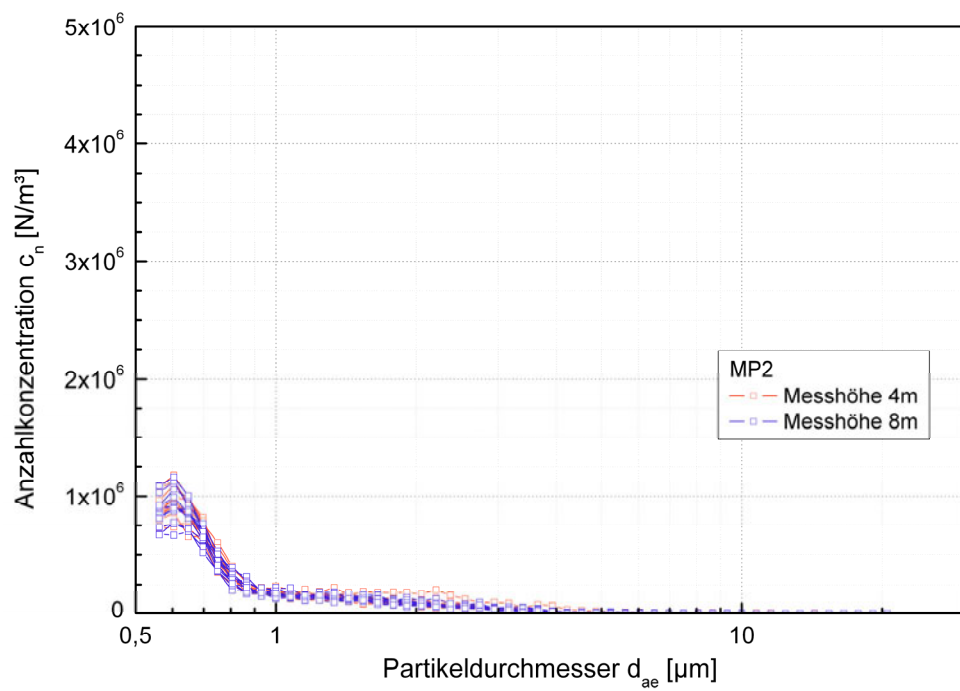


Abbildung 67: (27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2

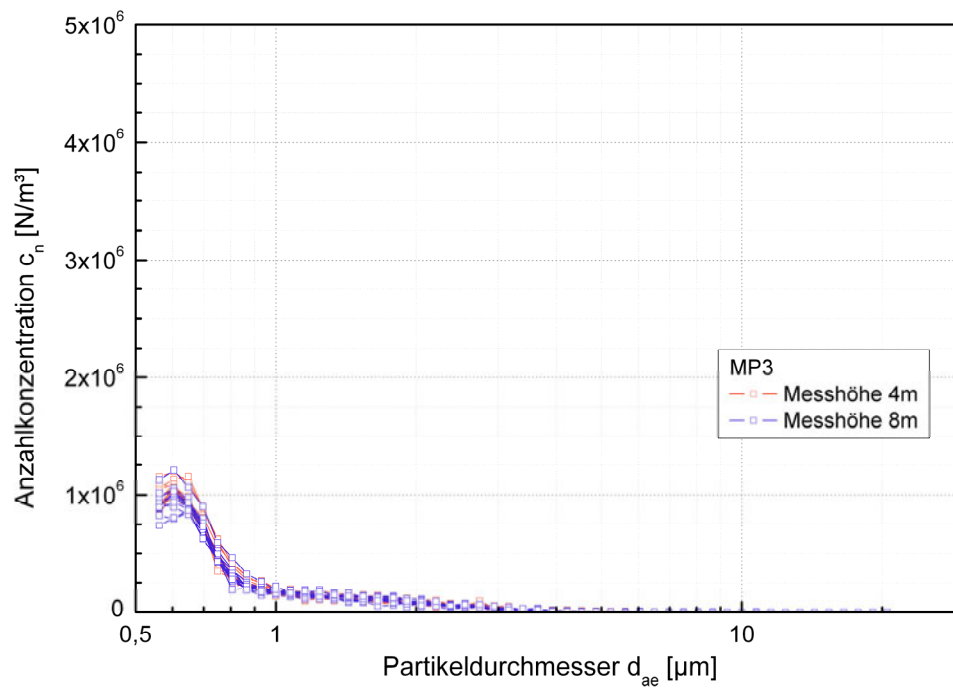


Abbildung 68: (27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3

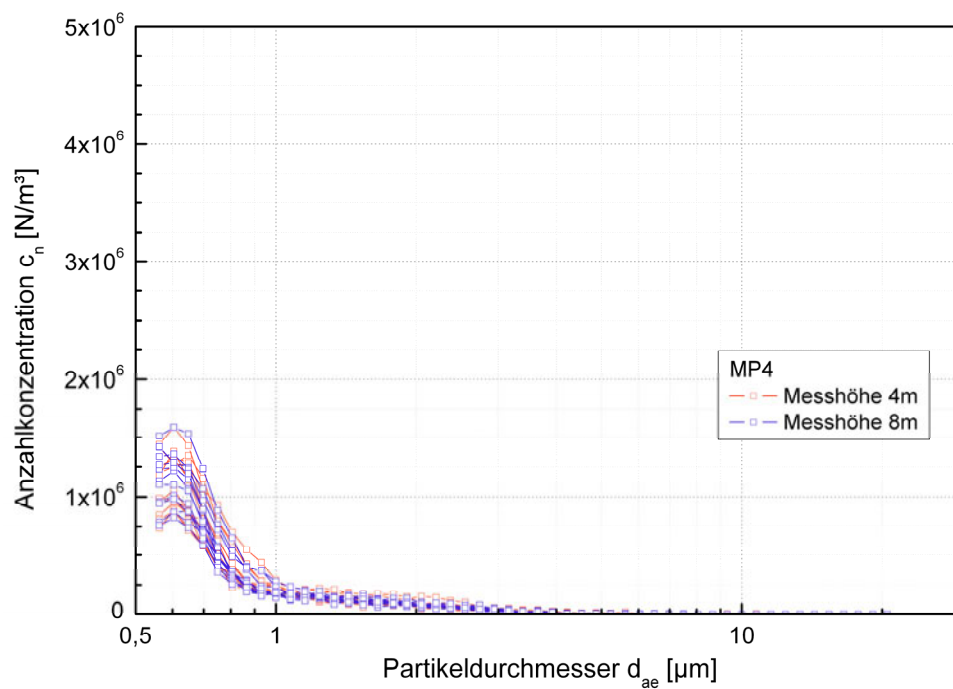


Abbildung 69: (27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4

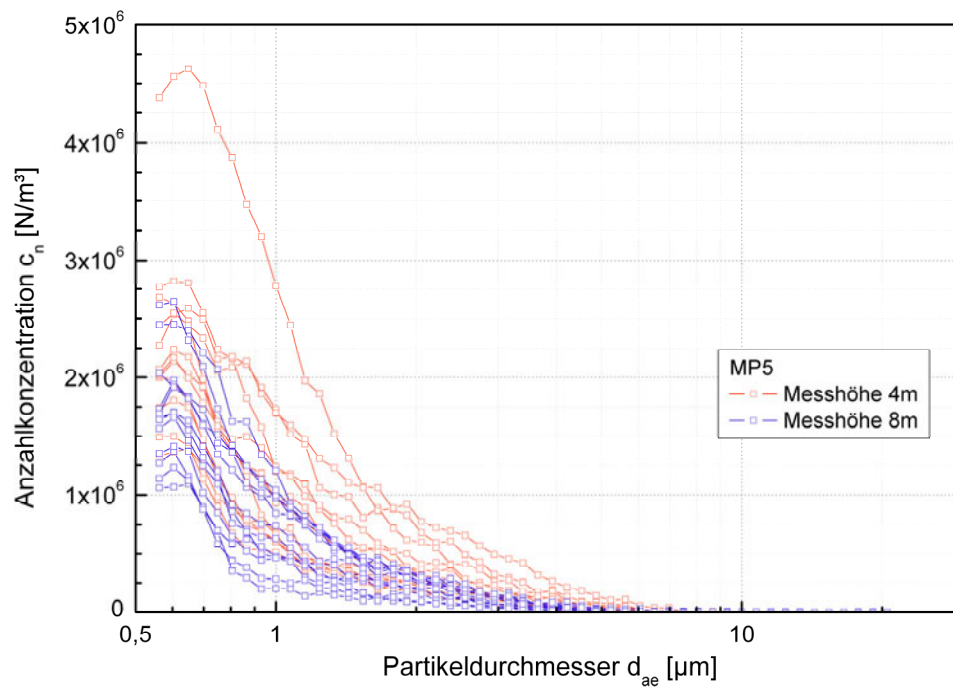


Abbildung 70: (27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5

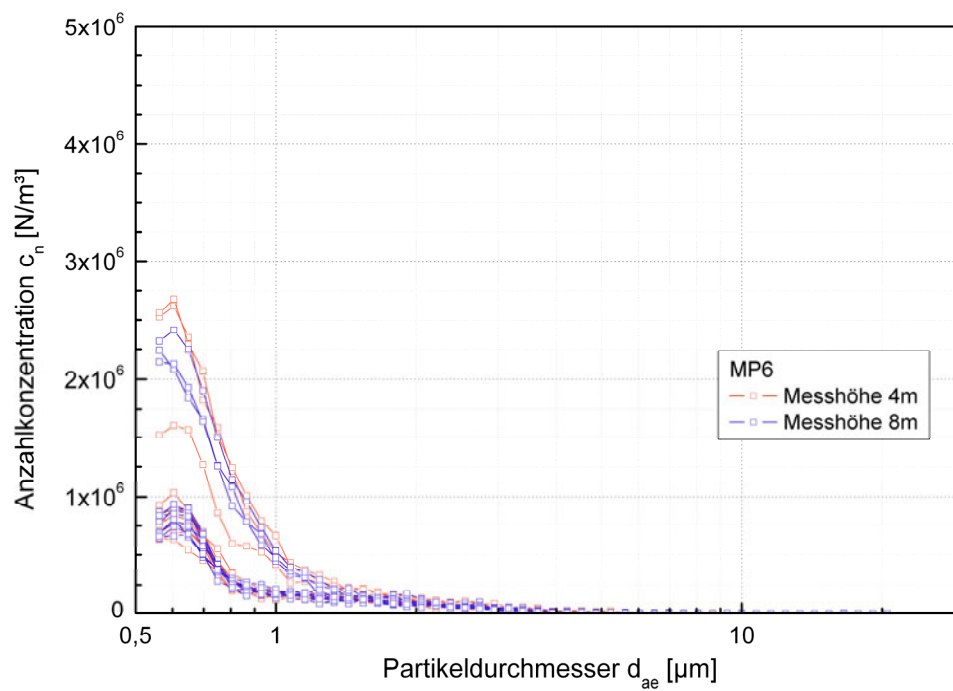


Abbildung 71: (27.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6

28.05.2009

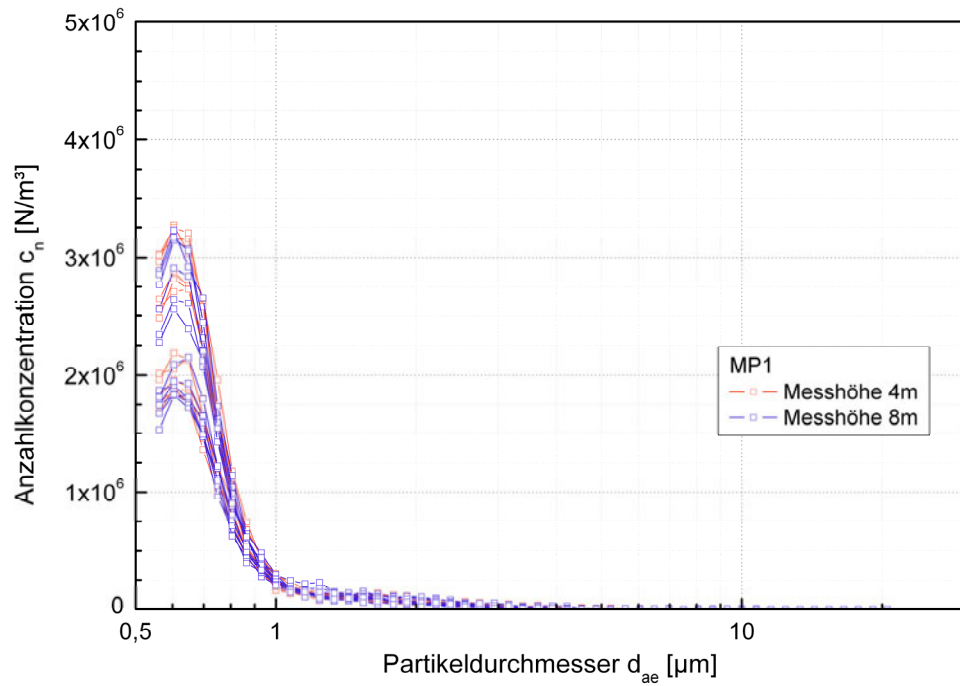


Abbildung 72: (28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1

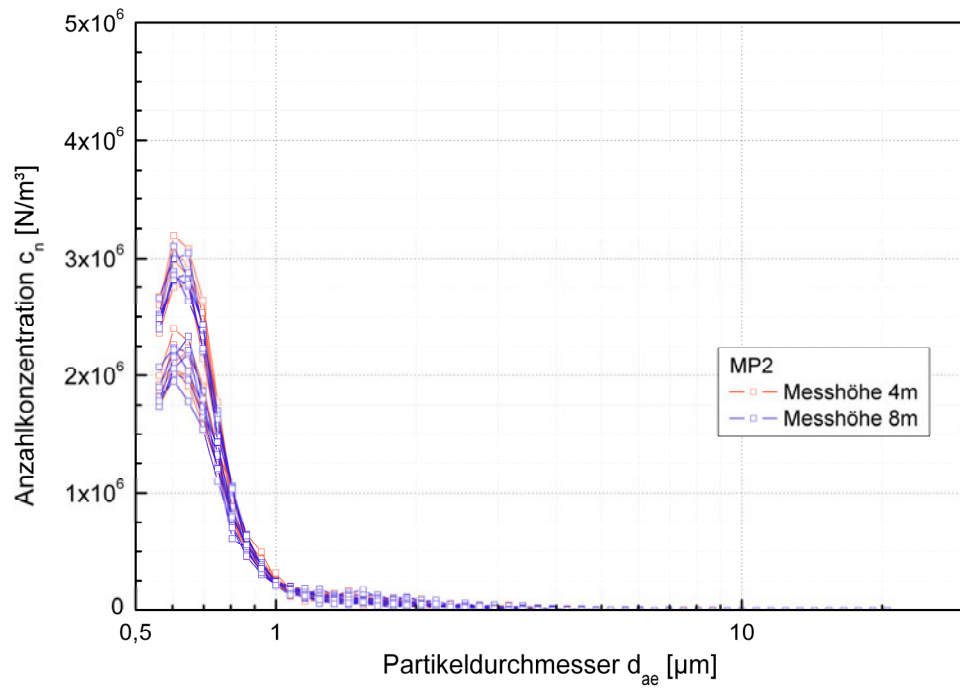


Abbildung 73: (28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2

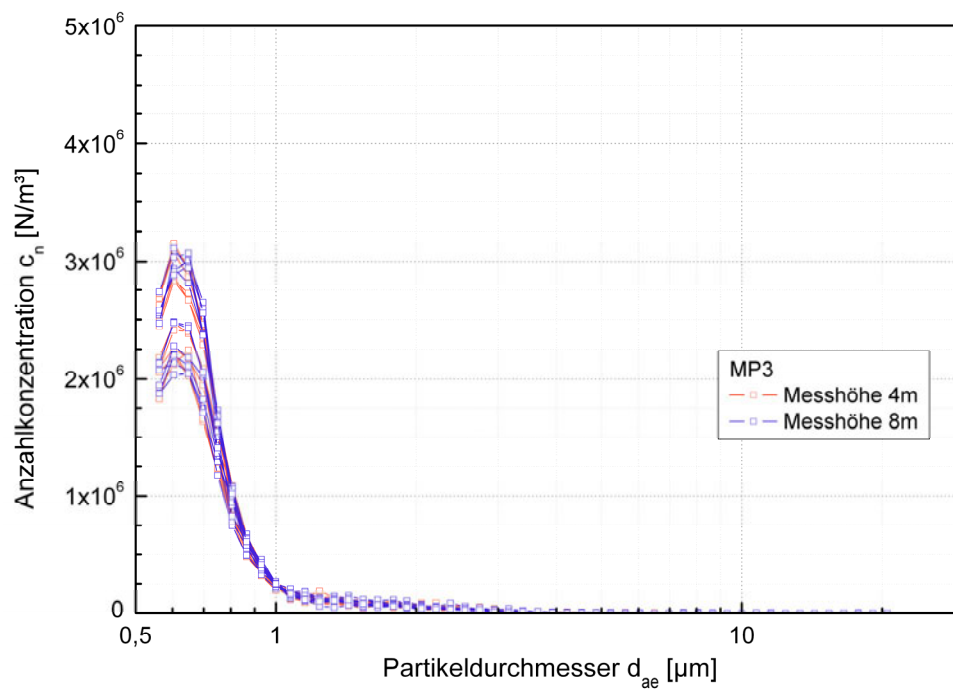


Abbildung 74: (28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3

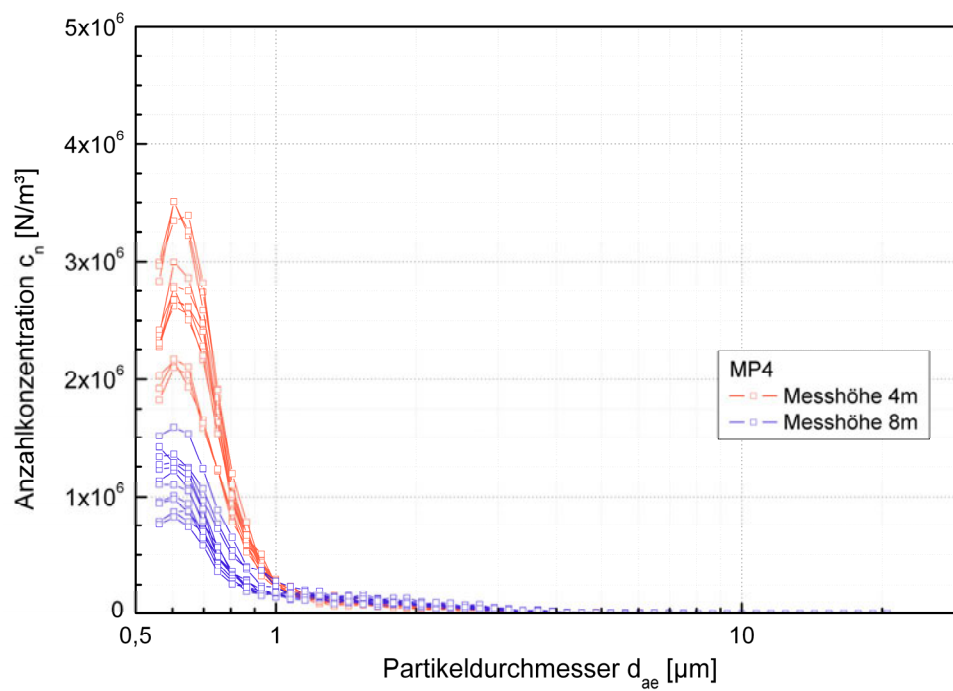


Abbildung 75: (28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4

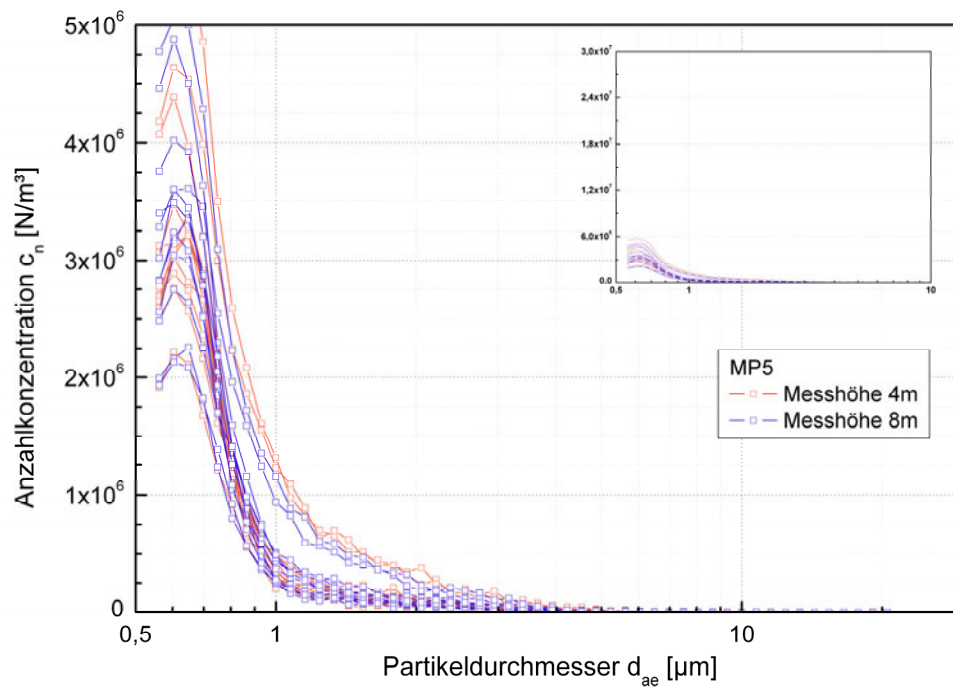


Abbildung 76: (28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5

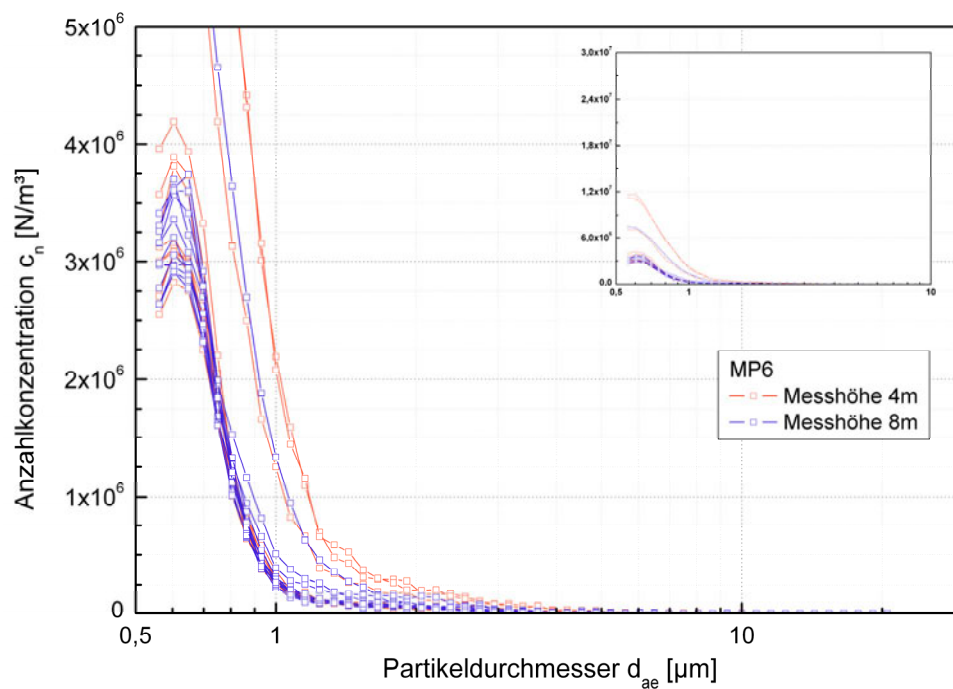


Abbildung 77: (28.05.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6

03.06.2009

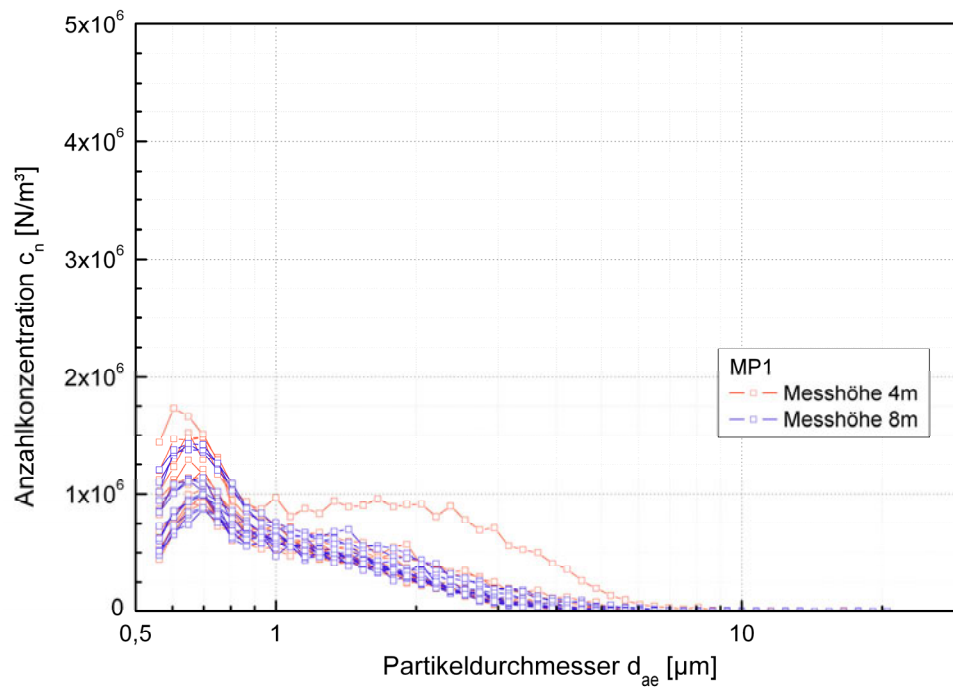


Abbildung 78: (03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1

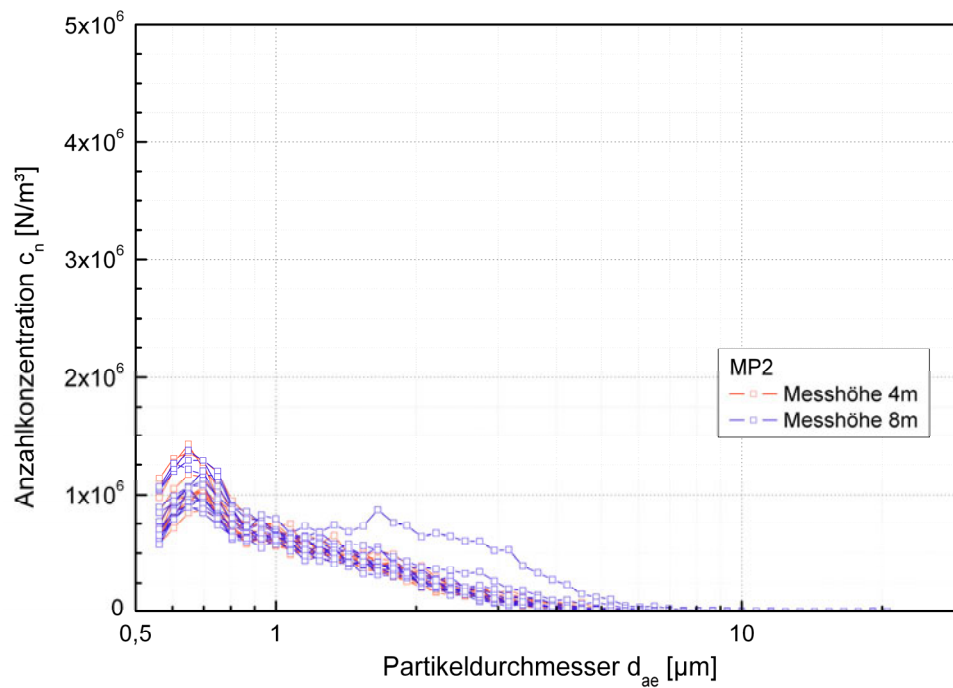


Abbildung 79: (03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2

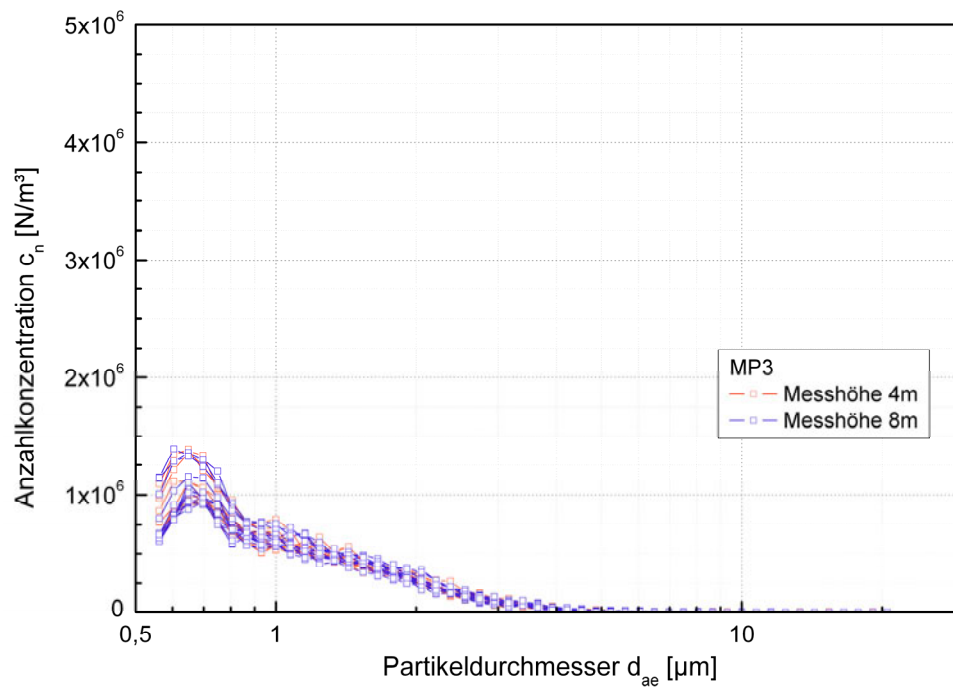


Abbildung 80: (03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3

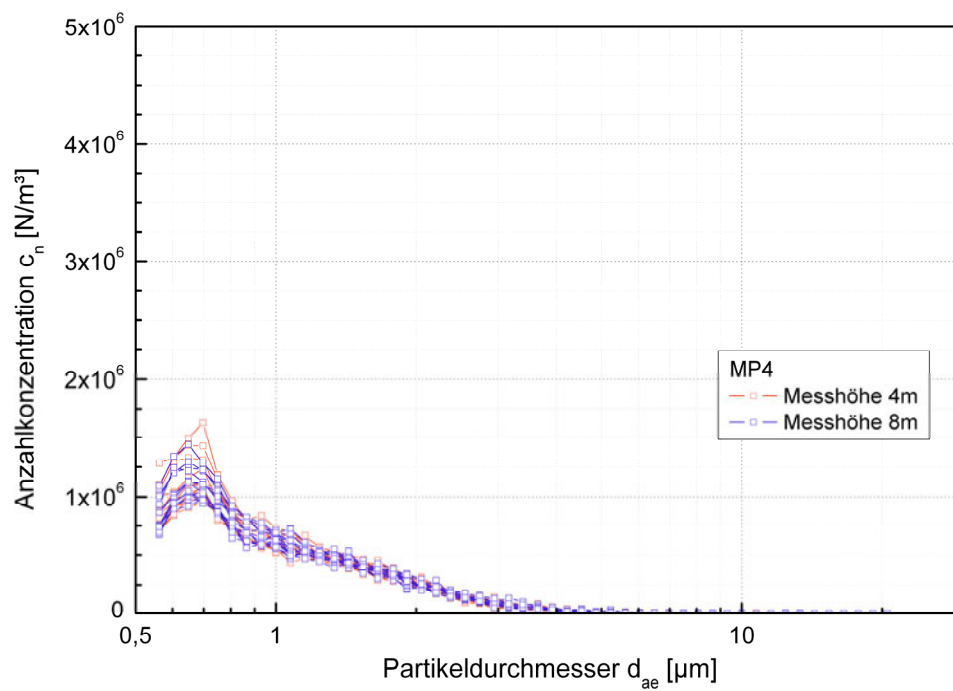


Abbildung 81: (03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4

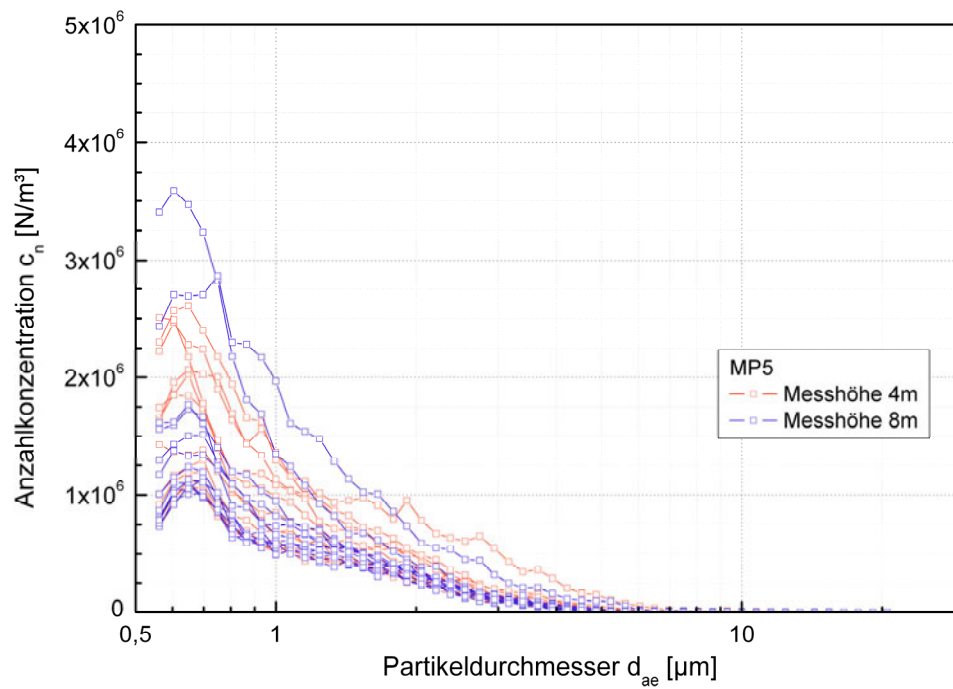


Abbildung 82: (03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5

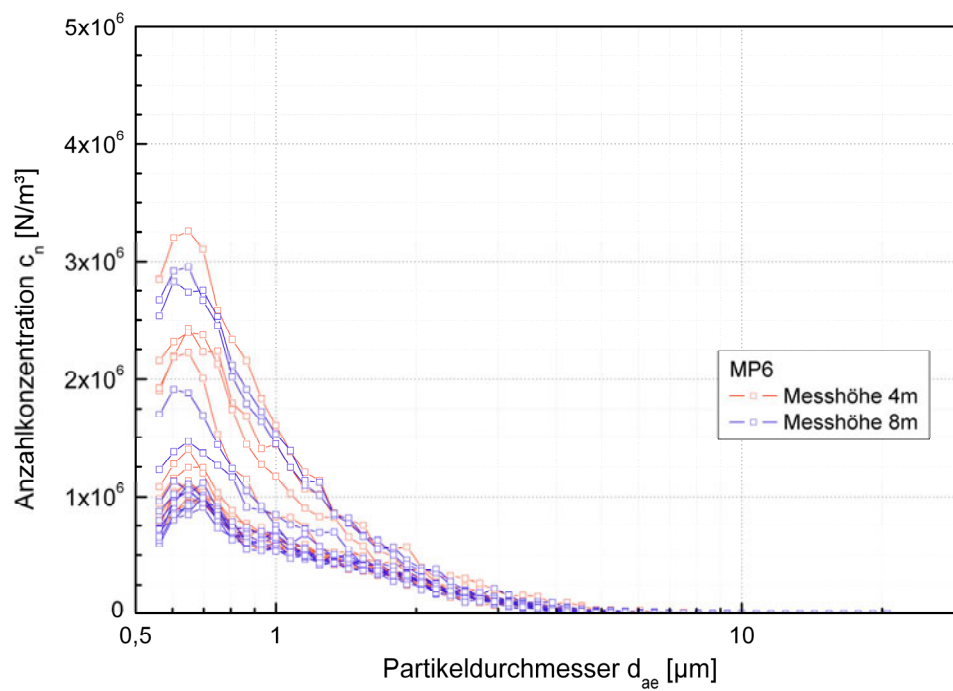


Abbildung 83: (03.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6

04.06.2009

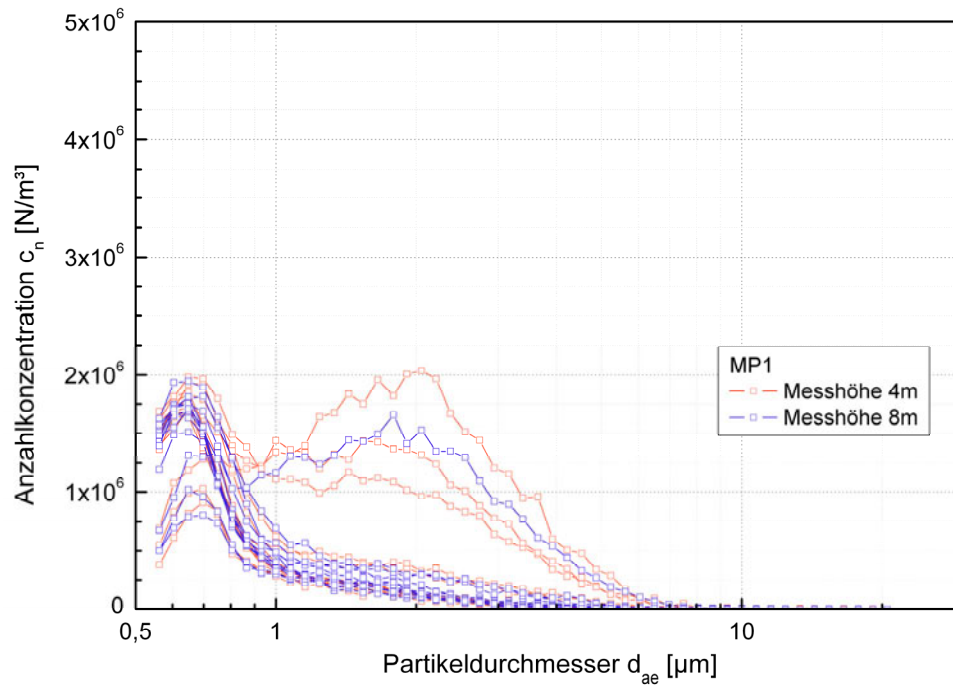


Abbildung 84: (04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1

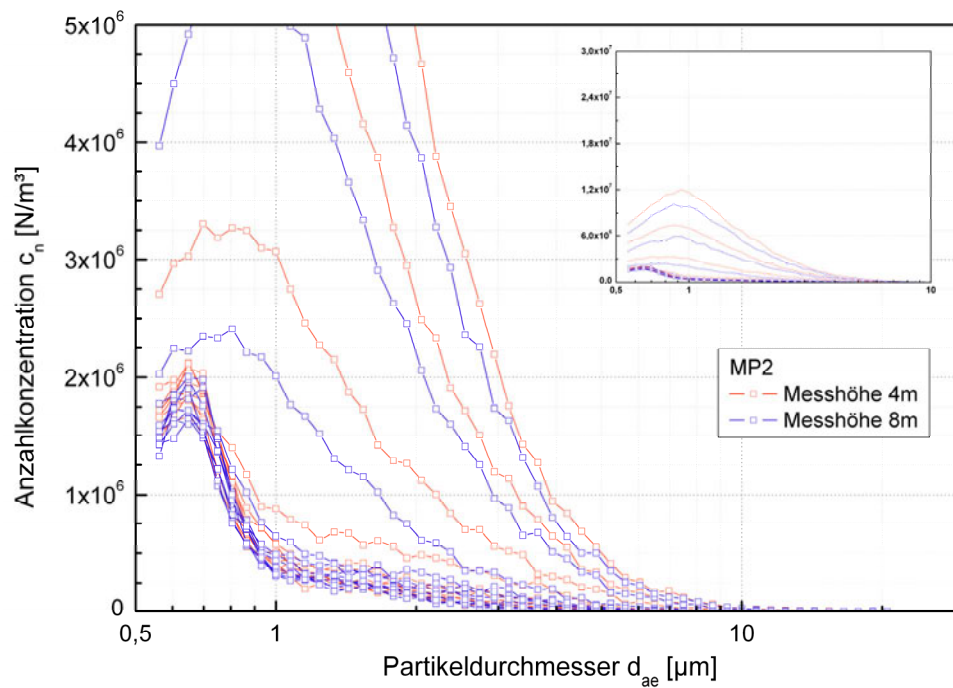


Abbildung 85: (04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2

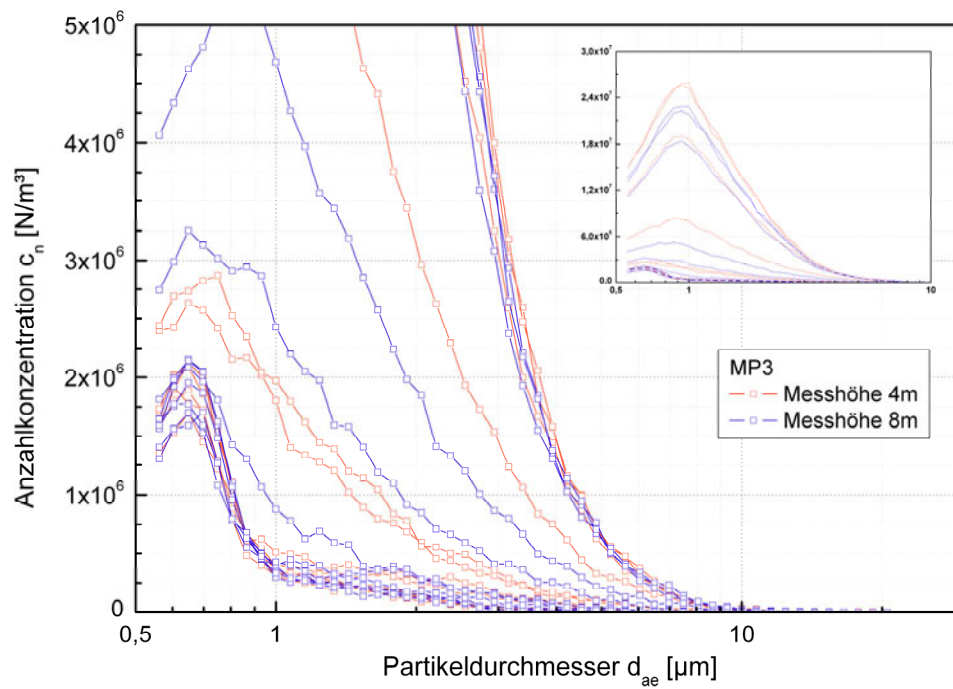


Abbildung 86: (04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3

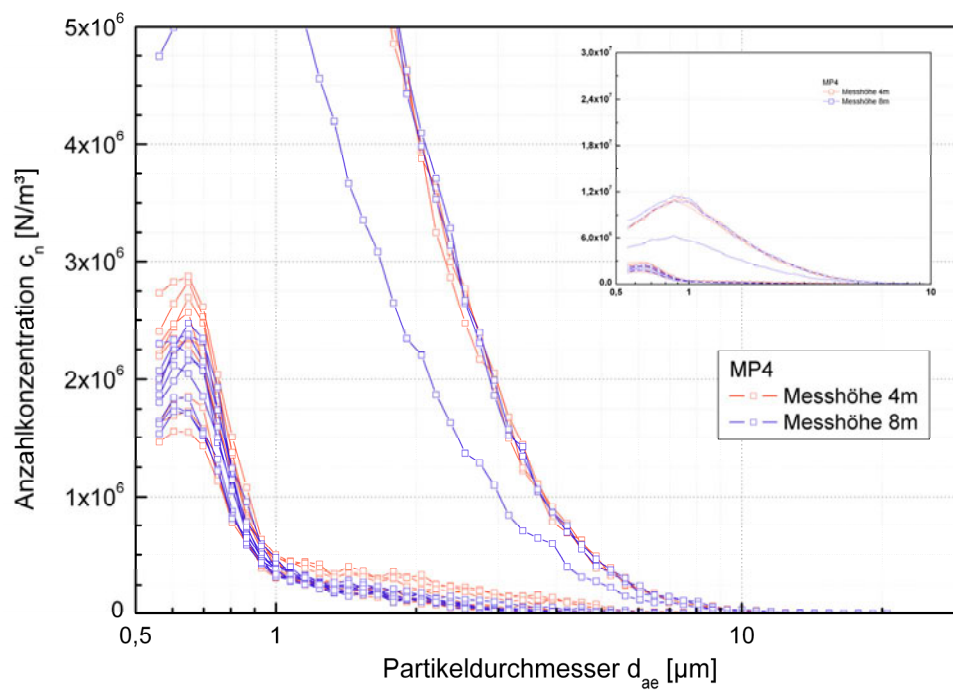


Abbildung 87: (04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4

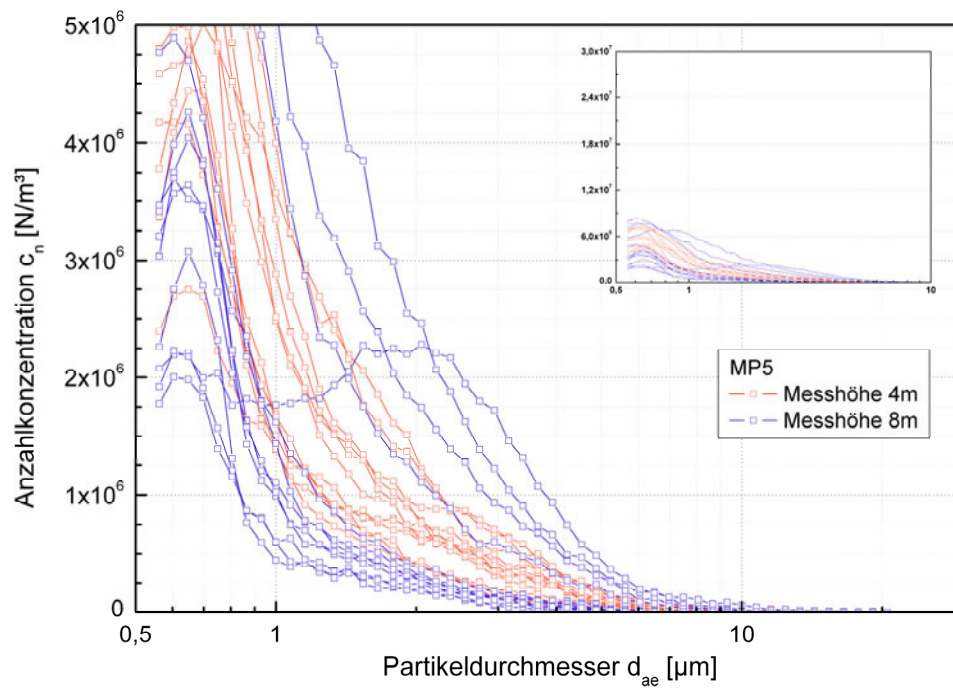


Abbildung 88: (04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5

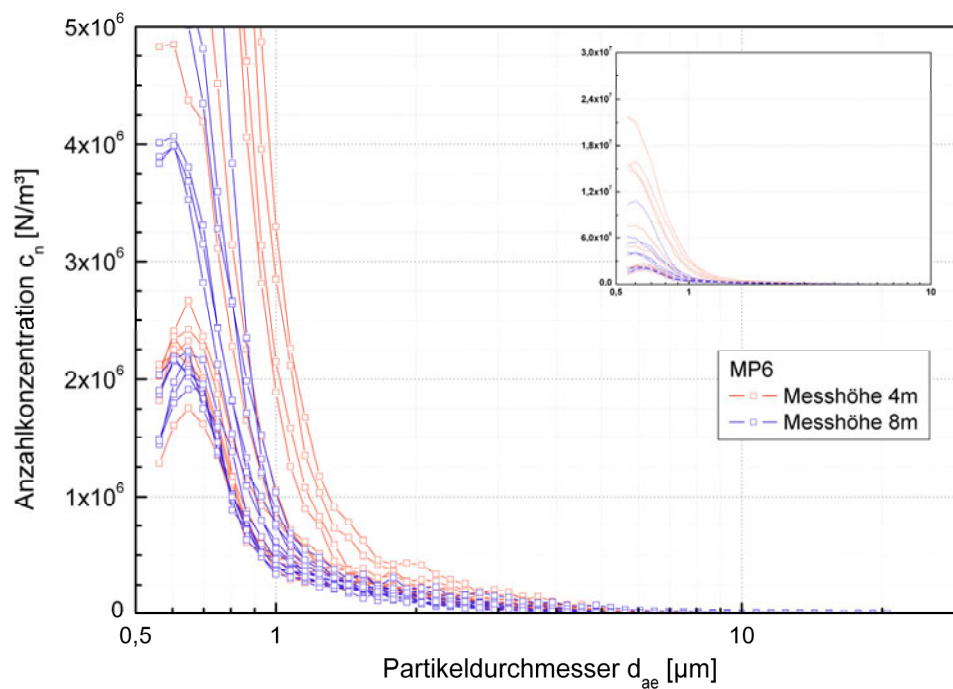


Abbildung 89: (04.06.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6

25.08.2009

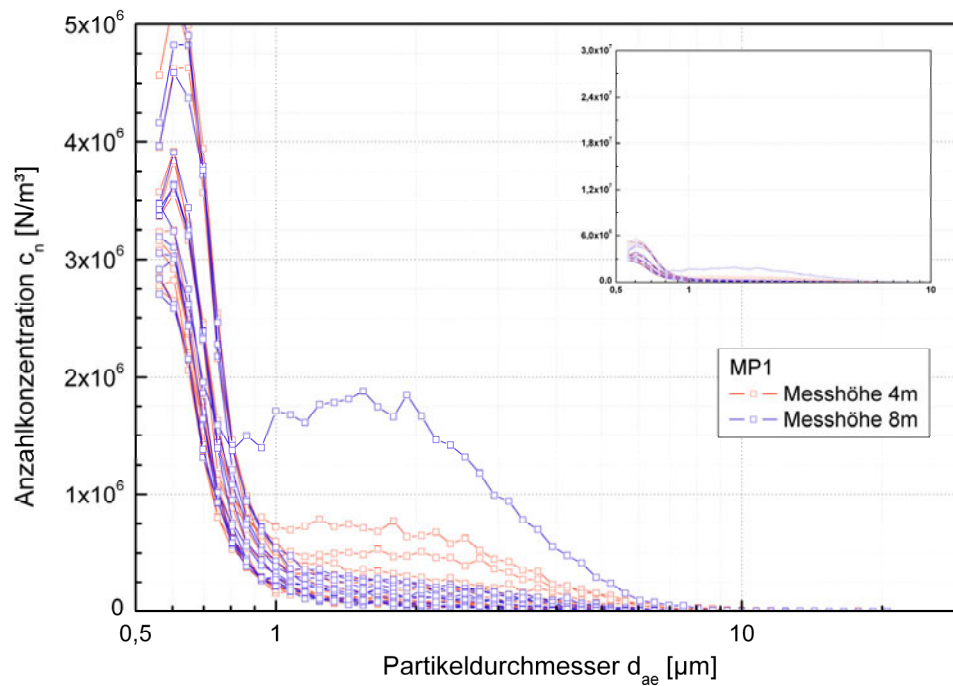


Abbildung 90: (25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1

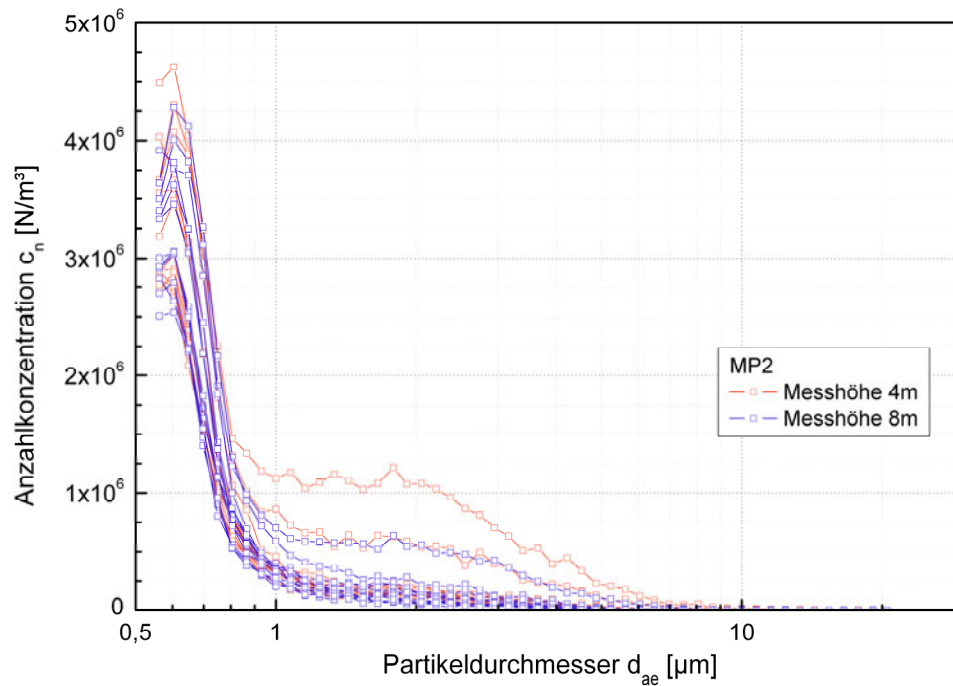


Abbildung 91: (25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2

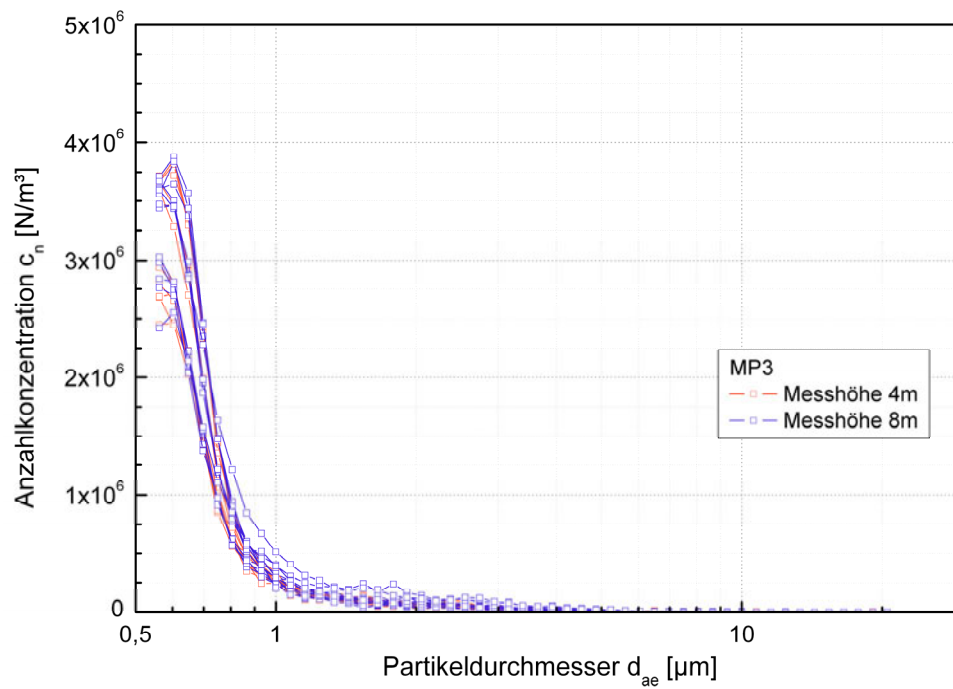


Abbildung 92: (25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3

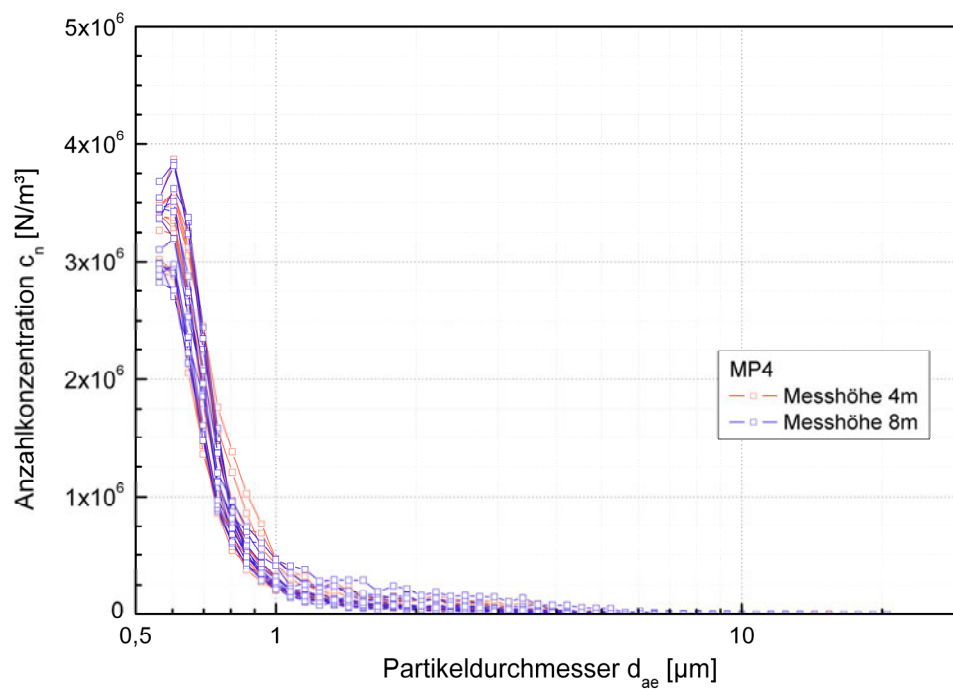


Abbildung 93: (25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4

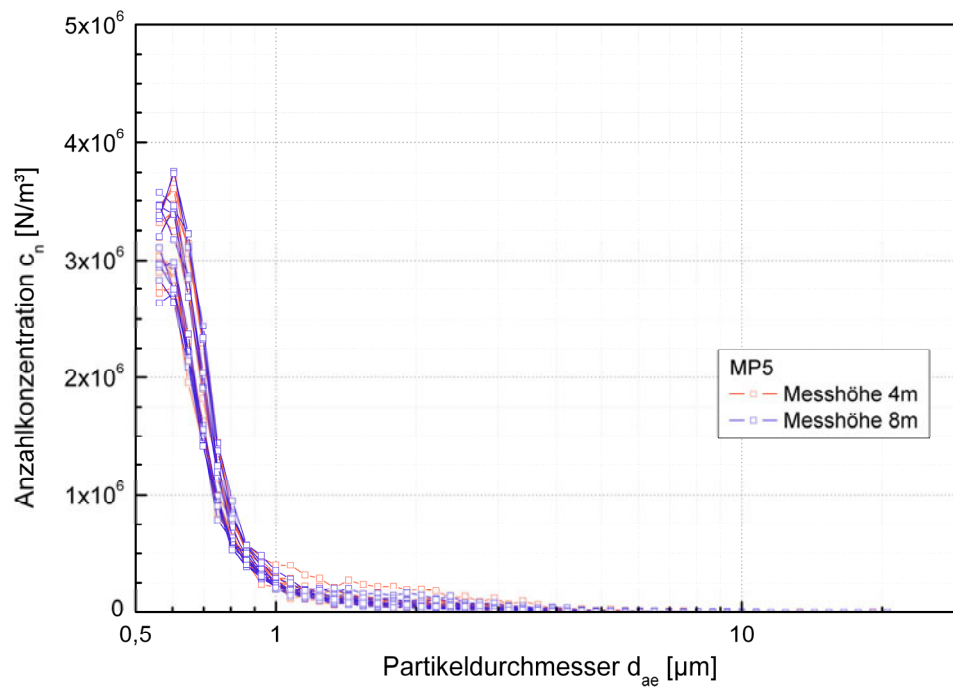


Abbildung 94: (25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5

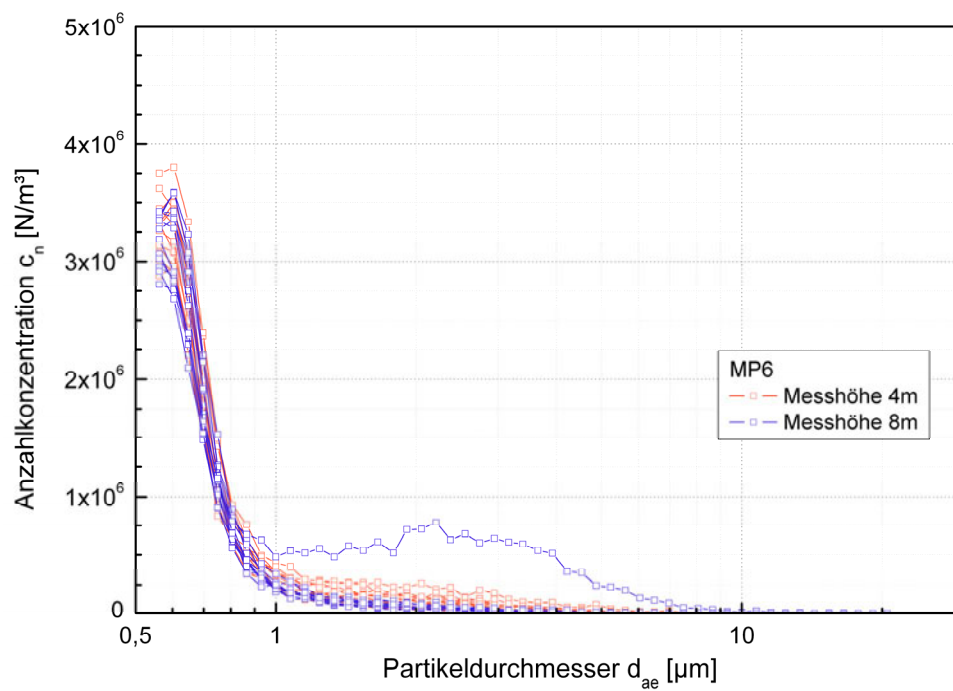


Abbildung 95: (25.08.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6

01.09.2009

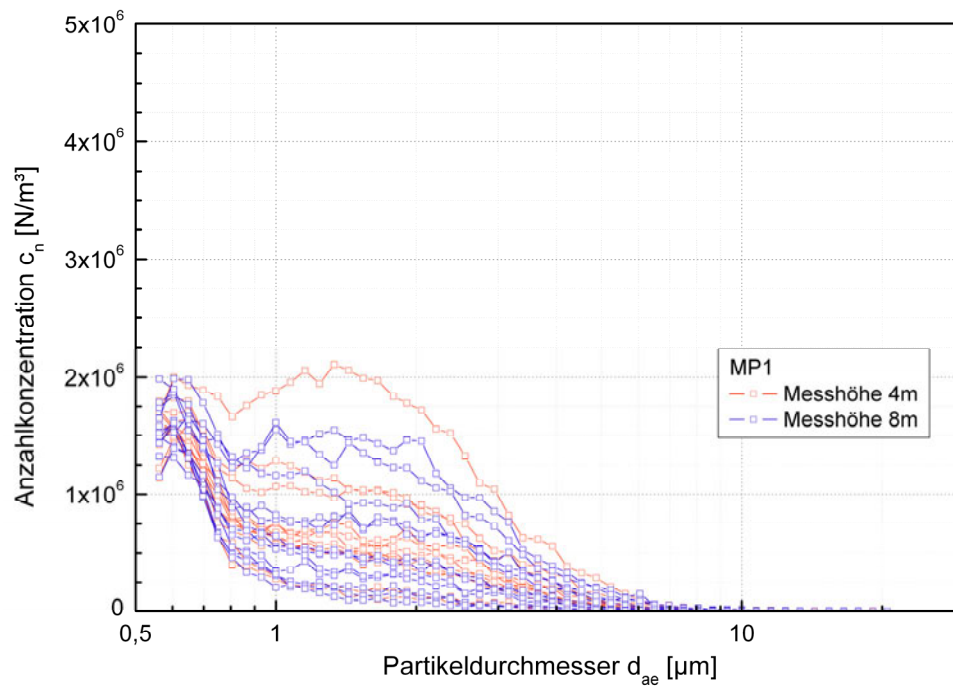


Abbildung 96: (01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP1

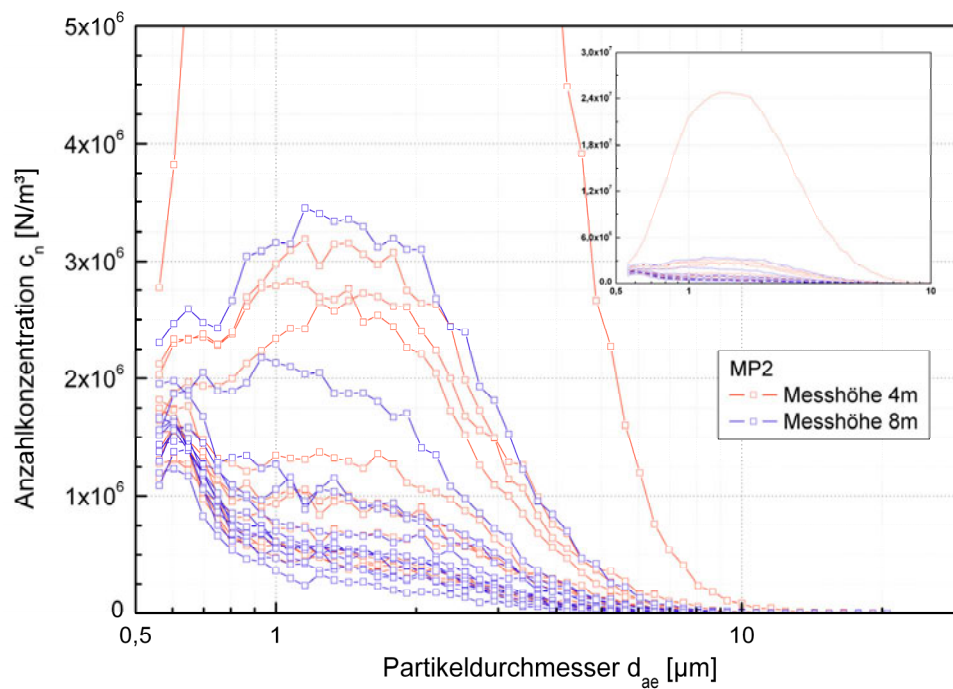


Abbildung 97: (01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP2

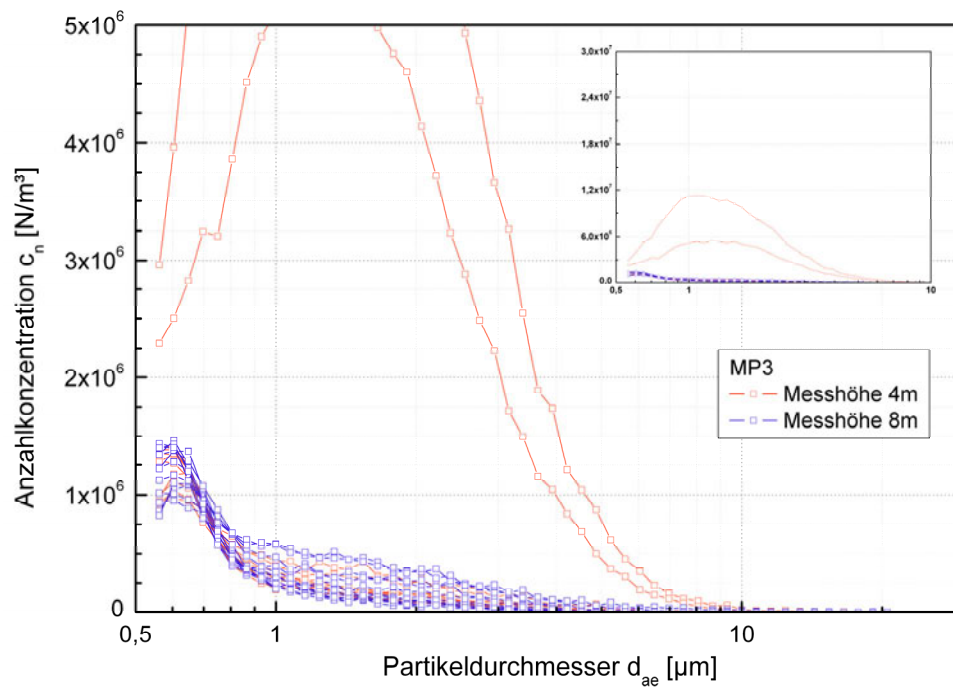


Abbildung 98: (01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP3

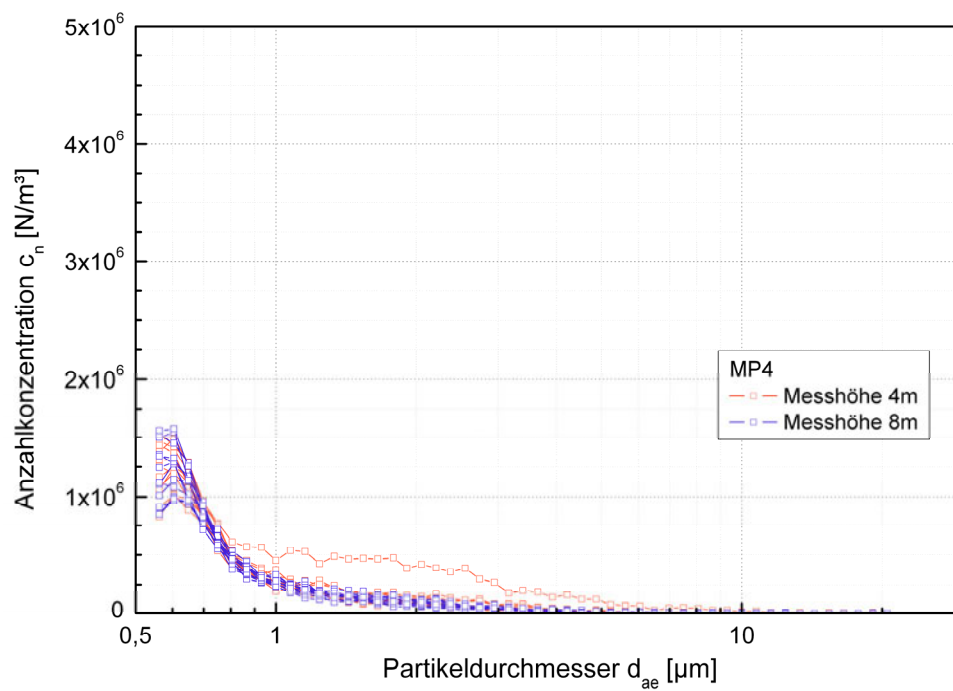


Abbildung 99: (01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP4

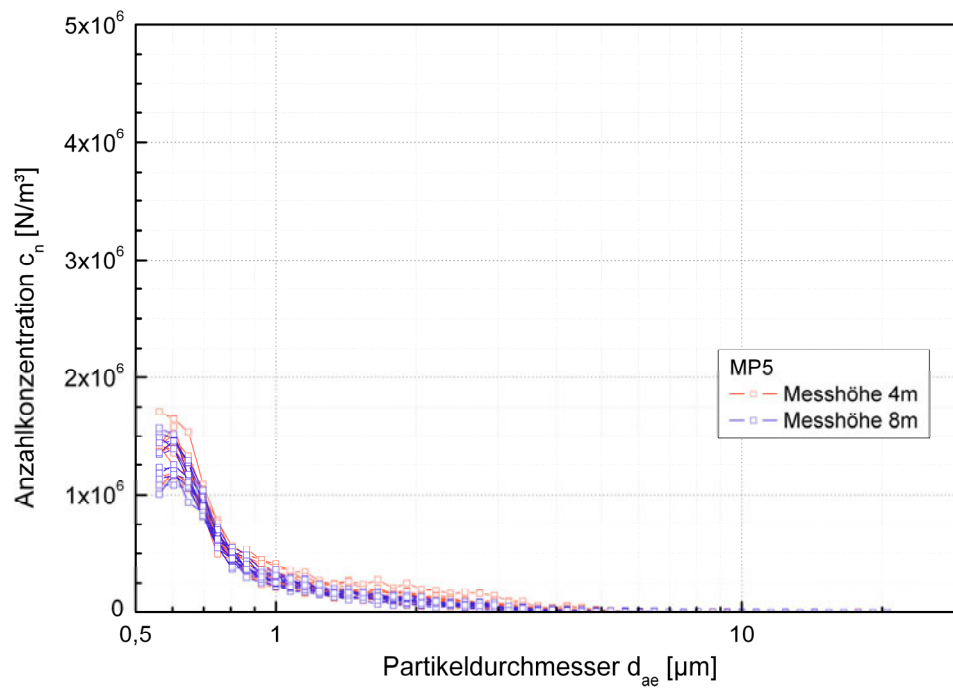


Abbildung 100: (01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP5

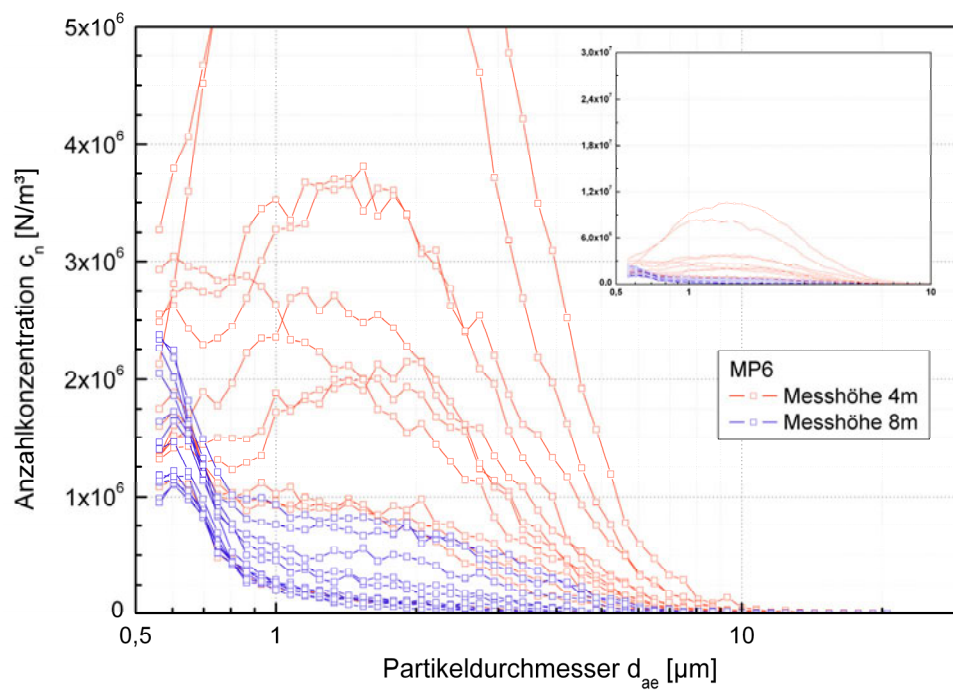


Abbildung 101: (01.09.2009) Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung MP6

12.8 Kalibrierprotokoll Flugzeitspektrometer APS 3321

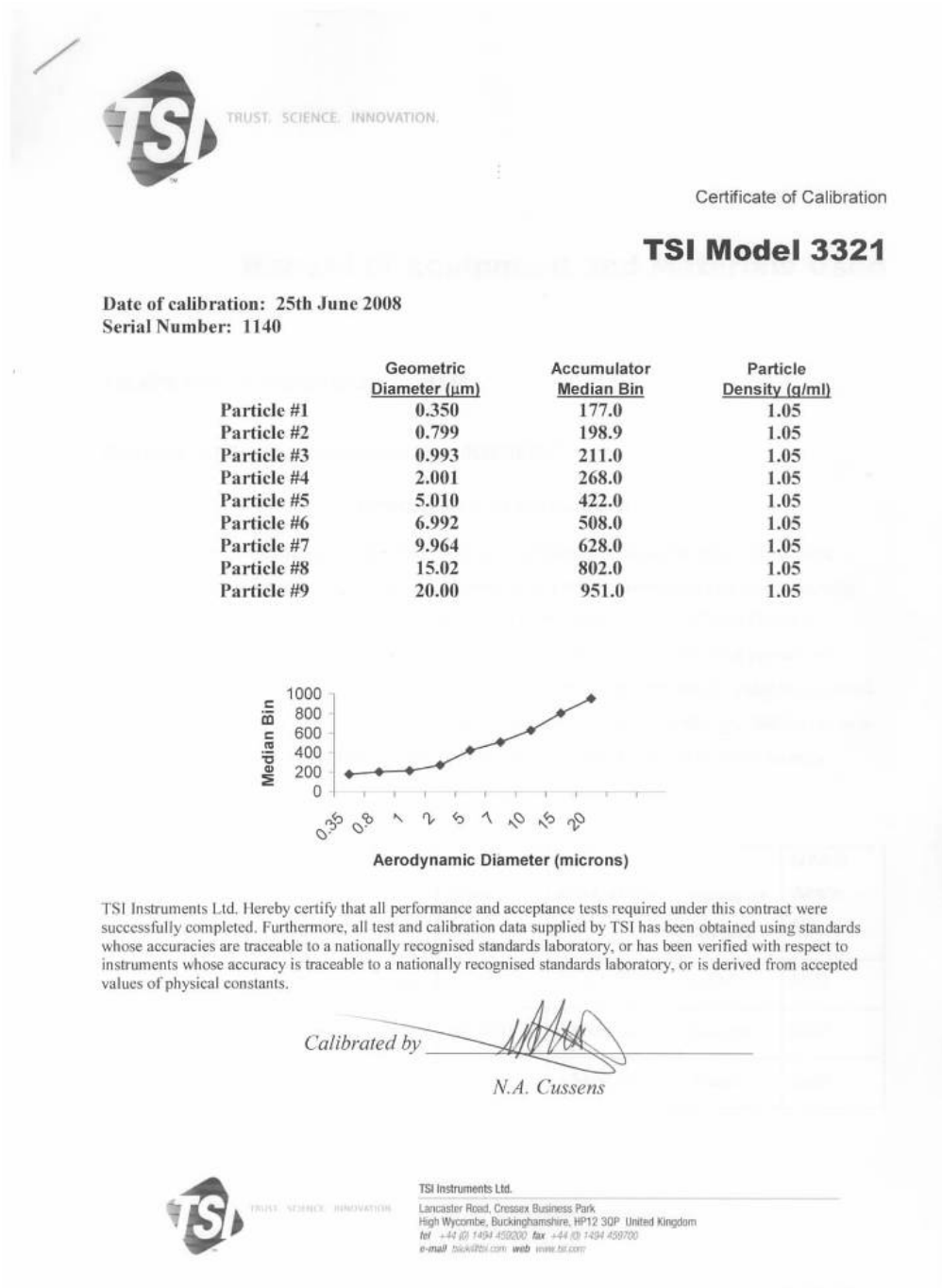


Abbildung 102: Kalibrierzertifikat, Flugzeitspektrometer APS 3321

12.9 Filteruntersuchungen (SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH)

SGS

10. Nov. 2009

33-356 Sk. *W.*

**INSTITUT
FRESENIUS**

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH · Königsbrücker Landstrasse 161 · D-01109 Dresden



Institut für Luft- und Kältetechnik
gemeinnützige GmbH
Berthold-Brecht-Allee 20

D-01309 Dresden

Dr. H. Masuch
Tel. +49 351 8841-125, Fax -190
harald.masuch@institut-fresenius.de

Consumer Testing Services
Microelectronics

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH
Königsbrücker Landstraße 161
D-01109 Dresden

Dresden, 04.11.2009

Ihr Projekt : Filteruntersuchungen
Ihre Auftrags-Nr.: 33-1716-09
Ihr Bestelldatum: 24.09.2009 Hr. Heidenreich / Hr Schmidt

Prüfberichts-Nr.:	1504633-D90977
Prüfberichtstitel:	Untersuchung von PTFE-Filtern mittels REM/EDX und XRD
Gesamtumfang:	6 Seiten Bericht und 3 Anlagen
Auftraggeber:	ILK DD
SGS IF Proben-Nr.:	9478257 und ~58
Probenahme:	durch Auftraggeber
Probeneingang REM-Labor:	01.10.2009
Untersuchungsmethoden:	Rasterelektronenmikroskopie (REM) Energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX) Röntgendiffraktometrie (XRD)
Prüfzeitraum:	06.10.2009 – 30.10.2009

Masuch
i.A. Dr. H. Masuch
Senior Consultant Material and Failure Analysis

K. U. Hantsch
i.A. K.-U. Hantsch
Phase Lab

SGS INSTITUT FRESENIUS GmbH

Im Maisel 14 · D-65222 Taunusstein · t +49 6128 744 - 0 · f +49 6128 744 - 9890 · www.institut-fresenius.de
Geschäftsführer: Matthias Oppermann · Aufsichtsratsvorsitzender: Dirk Hellmanns

HRG 21942 Amtsgericht Wiesbaden, Außenstelle Bad Schwanau (Ust. Nr.: DGB1100401)
Die Prüfergebnisse beziehen sich auf die untersuchten Proben. Die Verantwortlichkeit und Vervielfältigung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werturteilen sowie deren entsprechende Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen unserer schriftlichen Genehmigung.
Alle Dienstleistungen werden auf Grundlage der anwendbaren Allgemeinen Geschäftsbedingungen der SGS AG zur Verfügung gestellt.

Untersuchung von PTFE-Filtern mittels REM/EDX und XRD

1. Aufgabenstellung

Untersuchungen an belegten Luftfilterproben gemäß SGS-IF-Angebot:

- REM/EDX-Untersuchung an PTFE-Filter incl. REM-Übersichtsaufnahme, EDX-Screening, Dokumentation von max. 10 typischen Einzelpartikeln mit REM-Bild und EDX-Spektrum
- Erfassung der Partikelgrößenverteilung mittels REM an 100 Partikeln vorbehaltlich einer für die REM-Auswertung geeigneten Filterbelegung
- Röntgendiffraktometrische Untersuchungen (XRD) zur Ermittlung des Quarzgehaltes in Luftstaubproben

2. Probenbeschreibung

Probenkurzbezeichnung	Proben-Bezeichnung des Auftraggebers	SGS-IF-Proben-Nr.	Interne Proben-Nr. REM-Labor	Probenart	Probeluftvolumen
Filter 1	27.5 + 28.5	090/9478258	D90977-1	PTFE-Filter	ca. 500 – 600 l
Filter 2	Grimm-Filter Karl Köhler 3.6/4.6.	090/9478259	D90977-2	PTFE-Filter	ca. 500 – 600 l

Anmerkung:

Nach Angaben des Auftraggebers beträgt das Probeluftvolumen beider Filter je ca. 500 – 600 l.

3. Untersuchungsverfahren

3.1 REM-EDX an Filtern im Anlieferungszustand (REM-EDX RUN 1)

Aus den beiden Filtern wurde je ein Teilstück auf Leittab fixiert und nach Bedampfung mit Kohlenstoff im REM/EDX (Rasterelektronenmikroskop mit angeflanschem energiedispersivem Röntgenspektrometer) (REM mit EDX) untersucht. Dabei wurden sowohl die EDX-Übersichtsspektren der belegten Filter als auch REM-Aufnahmen und EDX-Spektren typischer Einzelpartikel erfasst.

3.2. XRD an Filtern im Anlieferungszustand (XRD RUN 1)

Die Untersuchung der belegten Filter konnte nicht wie vorgesehen in Anlehnung an die BIA 8522 durchgeführt werden, da die verwendeten Filter aus PTFE bestanden und sich somit nicht problemlos veraschen lassen. Bei der Veraschung frei werdendes Fluor würde mit SiO₂ reagieren und zu einer Phasenveränderung führen. Daher wurden Teile der Filter im Anlieferungszustand untersucht.

3.3. Umpräparation der Filterbelegung und REM-EDX an umpräparierten Filter (REM-EDX RUN 2)

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Auswertung der PTFE-Filter wurden die Filter (nach Wägung) für 10 min in jeweils 100 ml Isopropanol im Ultraschallbad behandelt. Die Waschflüssigkeit wurde über ein PC-Kemporenfilter (Porenweite 0,2 µm, eff. Filterfläche 189 mm²) gegeben. Nach erfolgreicher Filtration wurden die Filter getrocknet, gewogen, mit Kohlenstoff bedampft und im REM/EDX untersucht. Nach der Untersuchung von 50 Einzelpartikeln auf dem Filter 1 wurden auf Wunsch des Auftraggebers die REM-Untersuchungen an den umpräparierten Stäuben abgebrochen.

3.4. XRD an Glührückständen der umpräparierten Filter (XRD RUN 2)

Nach Übertragung des Materials vom PTFE-Filter auf einen veraschbaren Filter und dessen Veraschung bei 520°C mit nachfolgender Aufnahme mit halbkonzentrierter HCl (Auflösen evtl. vorhandener Carbonate aus der Filterverbrennung) und Filtration über 450 nm Ag-Sinterfilter wurden diese röntgenographisch untersucht.

4. Ergebnisse

4.1. REM-EDX RUN 1 (siehe Anlagen 1 und 2)

Die Übersichtsaufnahmen zeigen eine rel. geringe Filterbelegung an der Oberfläche der PTFE-Filter. Auf den Filteroberflächen lassen sich organische und anorganische Partikel bzw. Partikelagglomerate, darunter auch einige Si-O-reiche, nachweisen. Die Abmessungen reichen vom sub- μm -Bereich bis ca. 100 μm . Von auf einer Filterfläche von je 1 mm^2 erfassten je 27 Partikel und Partikelagglomeraten sind bei Filter 1 vier Partikel Si-O-reich, bei Filter 2 drei Partikel Si-O-reich, also möglicherweise Quarzpartikel.

4.2. XRD RUN 1

Die Röntgendiffraktogramme zeigen keine Hinweise auf kristalline SiO_2 -Modifikationen (Quarz, Cristobalit und Tridymit) (Abb. 1 bis 4). Deutlich zeigt sich das PTFE. Die Lage der Hauptpeaks der drei oben genannten SiO_2 -Modifikationen sind in Abb. 2 mit dargestellt.

Die Menge an kristallinen SiO_2 -Modifikationen auf den PTFE-Filtern liegt demnach unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens. Für belegte Silber-Sinterfilter (177 mm^2 belegte Fläche) liegt die Nachweisgrenze bei 0,005 mg und die Bestimmungsgrenze somit bei 0,015 mg Quarz. Für gut kristallinen Cristobalit sollten gleiche Grenzen gelten. Für Tridymit können die Grenzen nur theoretisch abgeschätzt werden (größter Peak ist ungefähr halb so hoch wie der von Quarz). Sie liegen für Tridymit bei 0,01 mg (NG) und 0,02 mg (BG).



Abb. 1: Röntgendiffraktogramm der Probe 1

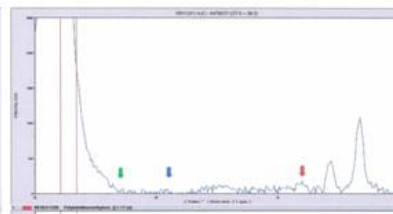


Abb. 2: Ausschnitt aus dem Röntgendiffraktogramm der Probe 1; ■ ... Quarz-Hauptpeak, ■ ... Cristobalit-Hauptp., ■ ...



Abb. 3: Röntgendiffraktogramm der Probe 2

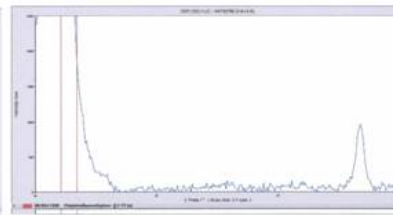


Abb. 4: Ausschnitt aus dem Röntgendiffraktogramm der Probe 2

4.3. Umpräparation der Filterbelegung und REM-EDX an umpräparierten Filter (REM-EDX RUN 2)

Die Wägungen ergaben folgende Resultate:

Filter	Masse Filter (ohne Teilstück für REM/EDX RUN1)	Filterbelegung PC-Filter
1	66,06 mg	0,21 mg
2	62,85 mg	0,14 mg

Auf dem PC-Filter der Probe 1 (siehe Anlage 3) wurde anschließend eine Partikelauswertung in Anlehnung an die VDI 3492 (Asbestfasern in Luft) durchgeführt. Bei 50 Partikeln wurde abgebrochen. Die ausgewertete Filterfläche betrug dabei 0,04 mm². Darunter sich 2 Si-O-reiche Partikel (Abmessungen 8x5 mm² bzw. 6x4 mm²).

Die Größenverteilung aller 50 Partikel ist in den folgenden Abb. dargestellt:

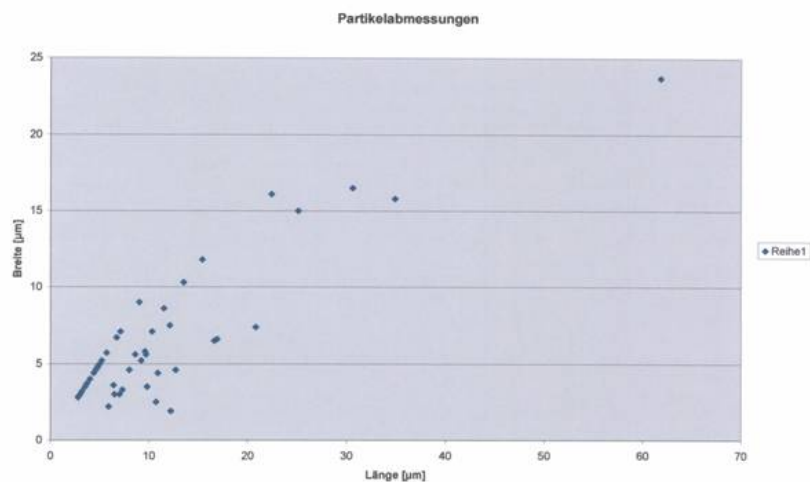
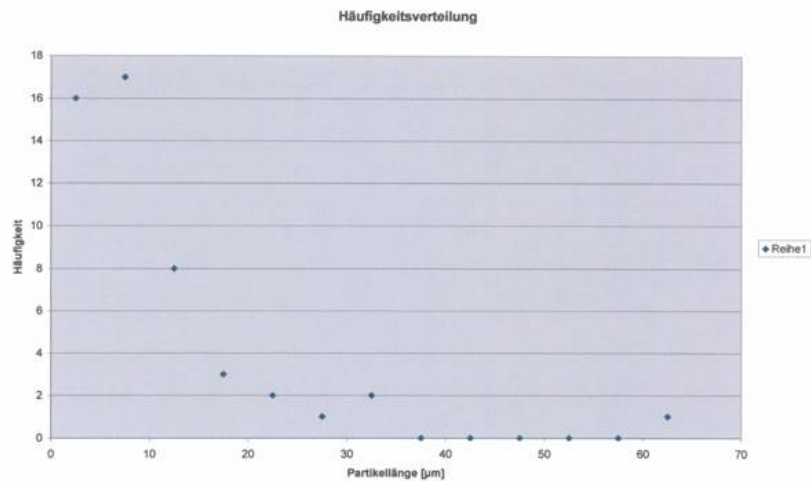


Abb. 5: Verteilung der Formfaktoren der ausgewerteten Partikel



4.4. XRD RUN 2

Bei der Präparation der Proben für die XRD-Messungen wurden folgende Massen bestimmt:

Filter	Masse belegter PC-Filter [mg]	Masse Glührückstand 520°C 30 min [mg]	Masse nach HCl-Behandlung des Glührückstandes [mg]
1	8,43	0,14	0,12
2	8,35	0,46	0,43

Bei der XRD-Untersuchung der Glührückstände wurden im Bereich des Quarz-Hauptpeaks Reflexe vorgefunden und quantitativ im Vergleich zu einem mit 0,06 mg Quarz belegten Ag-Filter ausgewertet (1045 cts; 390 Peakflächeneinheiten).

Probe 1 ergab 808 cts (324 Peakflächeneinheiten) was **0,05 mg Quarz** entspricht.

Probe 2 ergab 380 cts (188 Peakflächeneinheiten) was **0,02 mg Quarz** entspricht.

Damit liegen die vorgefundenen Werte knapp über der Bestimmungsgrenze des Verfahrens.

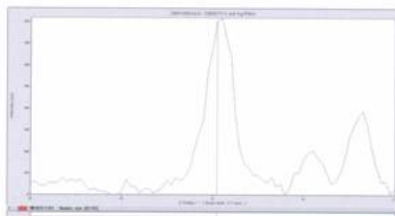


Abb. 7: Ausschnitt aus dem Röntgendiffraktogramm des belegten Ag-Filters (Probe 1)

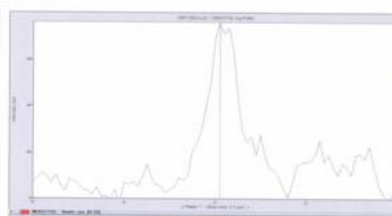


Abb. 8: Ausschnitt aus dem Röntgendiffraktogramm des belegten Ag-Filters (Probe 2)

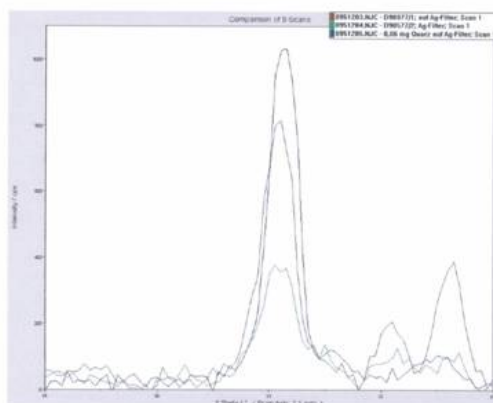


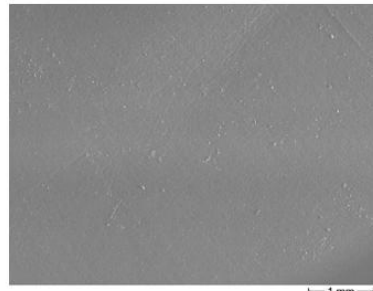
Abb. 9: Vergleich von Ausschnitten aus den Röntgendiffraktogrammen der belegten Ag-Filter (Probe 1 - braun; Probe 2 - grün; 0,06 mg Quarz - blau)

5. Zusammenfassung und Diskussion

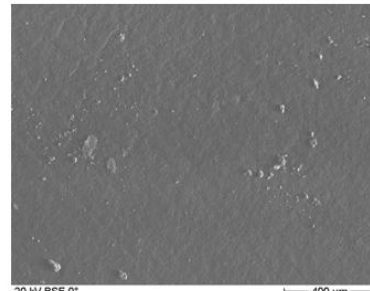
Die Auswertung der Filter im Anlieferungszustand (AZ) mit REM/EDX ergab für Si-O-reiche Partikel Anzahlkonzentrationen von 11% (für Filter 1) bzw. 15% (für Filter 2). Mittels XRD waren an den Filtern im AZ kein kristallines SiO₂ nachweisbar. Nach der Umpräparation wurden mittels XRD Quarzkonzentrationen (bezogen auf die Filterbelegung der PC-Filter aus der Filterwaschung) von 24 Gew% (für Filter 1) bzw. 14 Gew% (für Filter 2) ermittelt. Die REM/EDX-Auswertung eines Teils der PC-Filteroberfläche nach Umpräparation ergab eine Partikelanzahlkonzentration von 4 %.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

- Ende des Prüfberichtes -



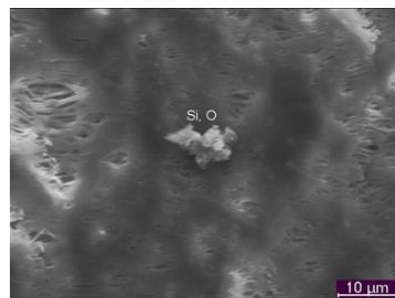
Übersichtsaufnahme (BSE)



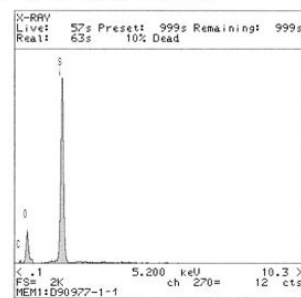
Detailaufnahme (BSE)

1

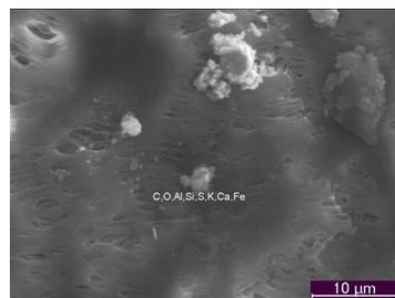
Detailaufnahmen (SE) und EDX-Spektren ausgewählter Partikel und Agglomerate



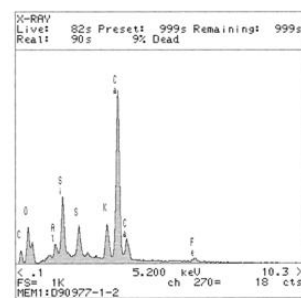
Detail 1-1



Detail 1-1

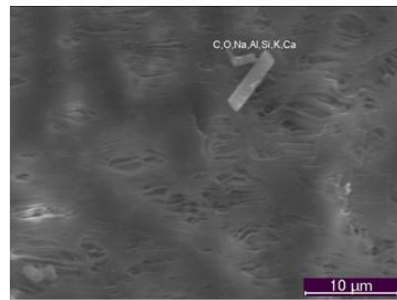


Detail 1-2

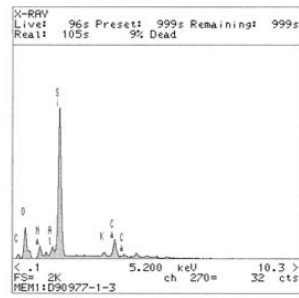


Detail 1-2

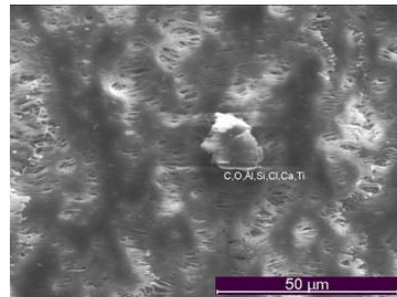
2



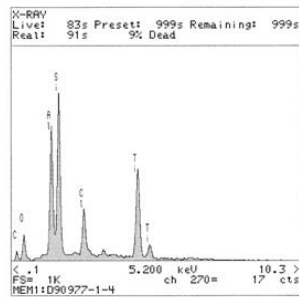
Detail 1-3



Detail 1-3: Glasfaserspektrum

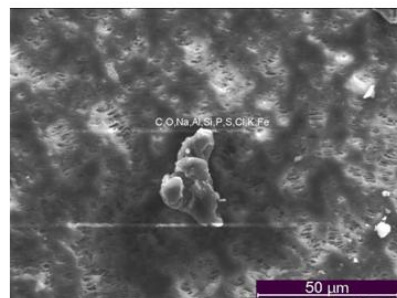


Detail 1-4

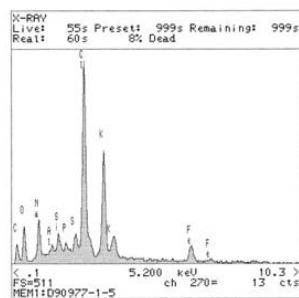


Detail 1-4

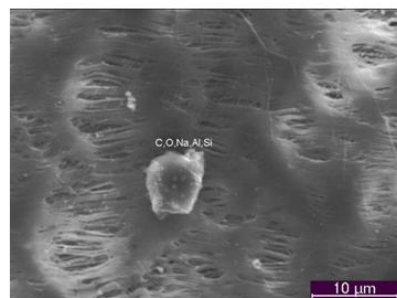
3



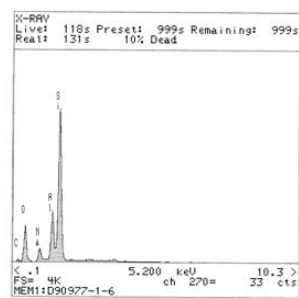
Detail 1-5



Detail 1-5

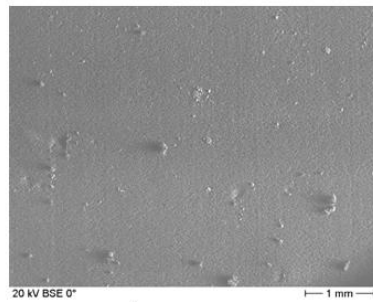


Detail 1-6

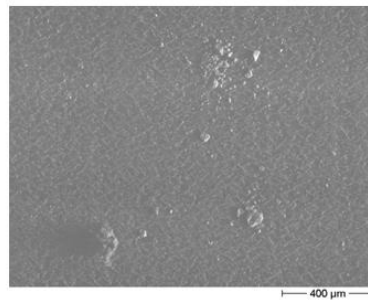


Detail 1-6

4



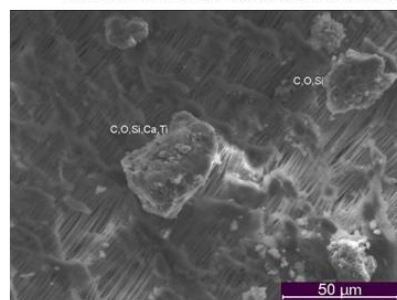
Übersicht (BSE)



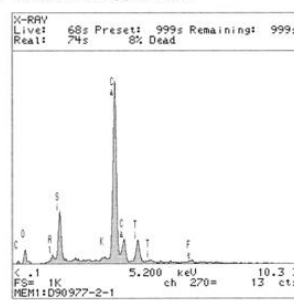
Detail (BSE)

1

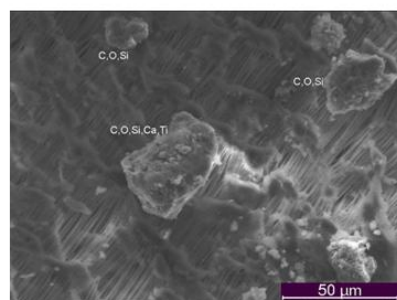
Detailaufnahmen (SE) und EDX-Spektren ausgewählter Partikel und Agglomerate



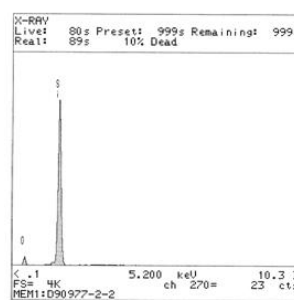
Detail 2-1



Detail 2-1

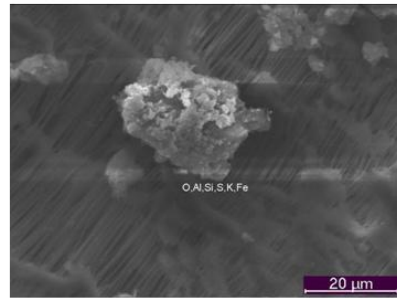


Detail 2-2

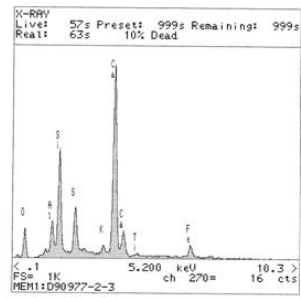


Detail 2-2

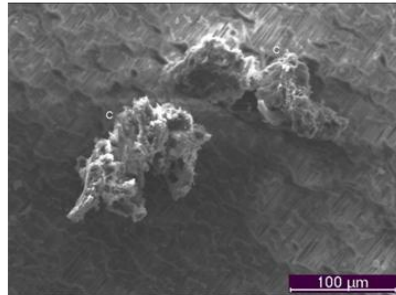
2



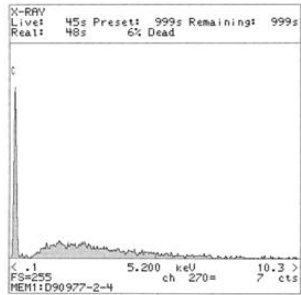
Detail 2-3



Detail 2-3

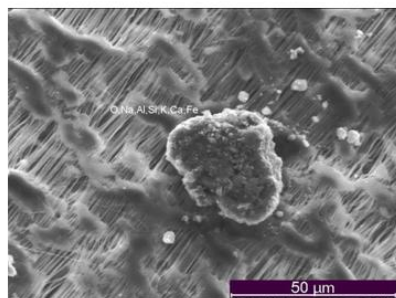


Detail 2-4

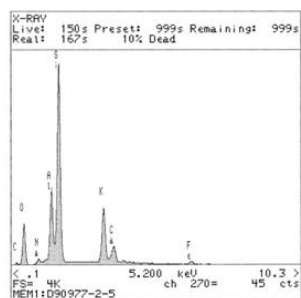


Detail 2-4

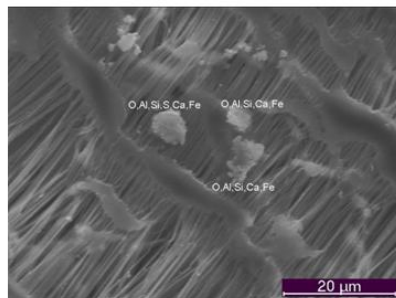
3



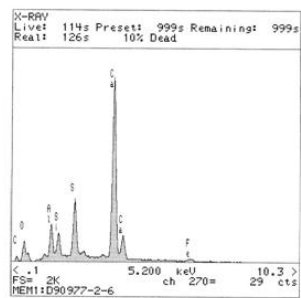
Detail 2-5



Detail 2-5

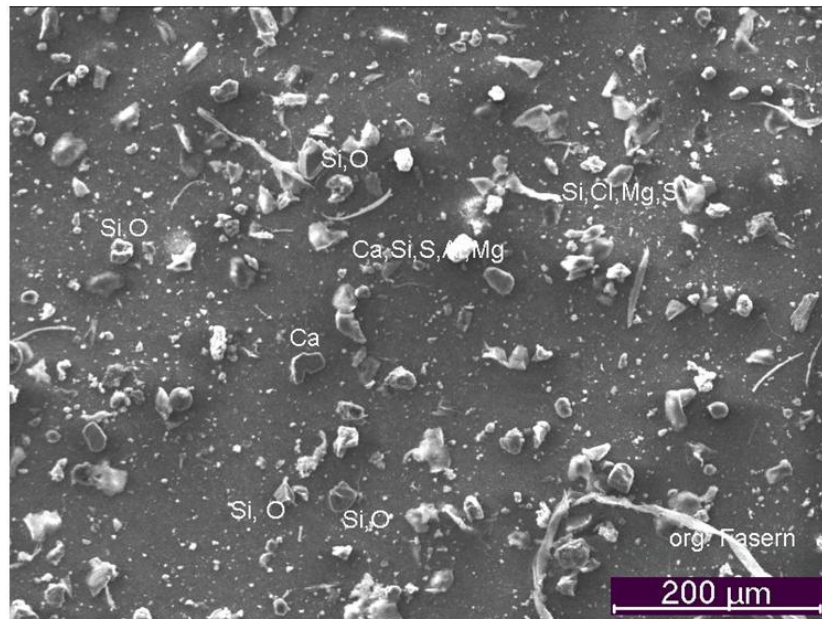


Detail 2-6



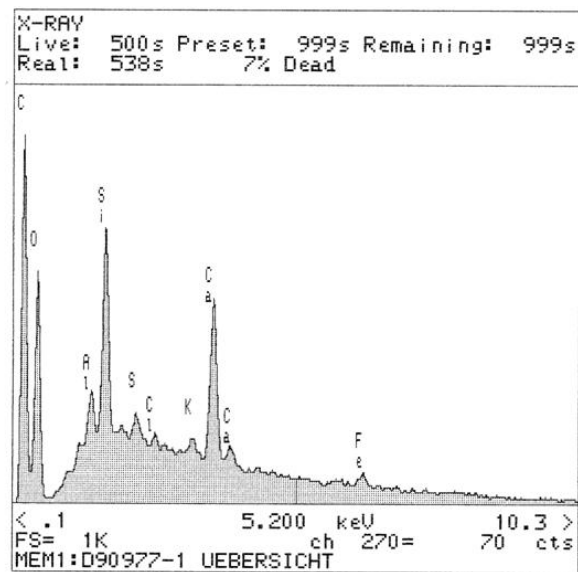
Detail 2-6

4



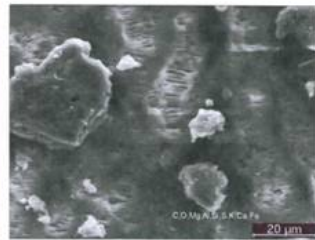
Übersichtsaufnahme des PC-Kernporenfilters mit typischen Partikeln

1

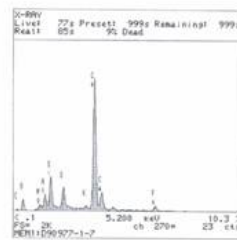


Übersichtsspektrum eines größeren Bereiches des Filters

2



Detail 1-7



Detail 1-7

12.10 Protokolle zur Nachrechnung nach VDI 3790, Blatt 3

04.06.2009

2010-07-23 16:39:32 -----

TalServer:C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/

Ausbreitungsmodell AUSTAL2000, Version 2.4.7-WI-x
Copyright (c) Umweltbundesamt, Berlin, 2002-2009
Copyright (c) Ing.-Büro Janicke, Dunum, 1989-2009

Arbeitsverzeichnis:

C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04

Erstellungsdatum des Programms: 2009-02-03 09:59:50

Das Programm läuft auf dem Rechner "PD104_201_1".

Beginn der Eingabe =====

```
> ti "HeidenauRecyc"           'Projekt-Titel
> z0 1.00                      'Rauhigkeitslänge
> qs 4                          'Qualitätsstufe
> az "akt0406.akt"             'AKT-Datei
> xa -129.00                   'x-Koordinate des
Anemometers
> ya -67.00                    'y-Koordinate des
Anemometers
> dd 4          8          16          'Zellengröße (m)
> x0 -83        -163        -211        'x-Koordinate der
l.u. Ecke des Gitters
> nx 40         40         26          'Anzahl Gitterzellen
in X-Richtung
> y0 -78        -158        -206        'y-Koordinate der
l.u. Ecke des Gitters
> ny 40         40         26          'Anzahl Gitterzellen
in Y-Richtung
> xq -2.00      -26.00     -61.00     -94.00     -88.00     -
53.00      7.00      33.00      -83.00      -26.00      -46.00
-35.00      9.00      -9.00      -5.00      7.00      11.00
> yq -24.00     -16.00      7.00      31.00      33.00
66.00      26.00      -61.00      31.00      48.00      24.00
-33.00      -46.00      -15.00      9.00      13.00      2.00
> hq 0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00       4.00       4.00       4.00
4.00       4.00       5.00       2.50       2.50       2.50
> aq 39.00      39.00      39.00      42.00      49.00
69.00      69.00      46.00      31.00      37.00      29.00
48.00      22.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> bq 0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00      37.00      12.00      21.00
15.00      48.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> cq 0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
```



```

> wq 50.00      320.00      352.00      320.00      50.00
320.00      320.00      50.00      320.00      320.00      320.00
320.00      320.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> vq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> dq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> qq 0.000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000
0.000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000
0.000      0.000      0.000      0.000      0.000      0.000
> sq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> lq 0.0000      0.0000      0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
0.0000      0.0000      0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
0.0000      0.0000      0.0000      0.0000      0.0000      0.0000
> rq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> tq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> pm-1 0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
> pm-2 0.049      0      0      0.0268      0.0616
0.0867      0.0867      0.0578      0.0209      0.2191      0.0111
0.0264      0.0192      0.333      0.036      0.036      0.036
> pm-3 0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
> xp -90.20      -24.34      -27.23      3.09      57.11
14.50      -2.10
> yp 22.71      17.66      -14.55      -40.54      -35.92
7.12      -20.76
> hp 1.50      1.50      1.50      1.50      1.50
1.50      1.50
===== Ende der Eingabe =====

```

Die Höhe hq der Quelle 1 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 2 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 3 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 4 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 5 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 6 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 7 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 8 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 9 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 10 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 11 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 12 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 13 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 14 beträgt weniger als 10 m.

Die Höhe h_q der Quelle 15 beträgt weniger als 10 m.
Die Höhe h_q der Quelle 16 beträgt weniger als 10 m.
Die Höhe h_q der Quelle 17 beträgt weniger als 10 m.
Datei im DWD-Format ab 01.04.1998.

AKTerm "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/akt0406.akt" mit 24 Zeilen, Format 2
Es wird die Anemometerhöhe ha=16.0 m verwendet.
Verfügbarkeit der AKTerm-Daten: 100.0 %

```
=====
TMT: Auswertung der Ausbreitungsrechnung für "pm"
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-j00z01" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-j00s01" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-depz01" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-deps01" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-j00z02" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-j00s02" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-depz02" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-deps02" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-j00z03" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-j00s03" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-depz03" ausgeschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-deps03" ausgeschrieben.
TMT: Dateien erstellt von TALWRK_2.4.5.
TMO: Zeitreihe an den Monitor-Punkten für "pm"
TMO: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-zbpz" ausgeschrieben.
TMO: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-06-04/pm-zbps" ausgeschrieben.
=====
```

Auswertung der Ergebnisse:
=====

DEP: Jahresmittel der Deposition
J00: Jahresmittel der Konzentration/Geruchsstundenhäufigkeit
Tnn: Höchstes Tagesmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen
Snn: Höchstes Stundenmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen

WARNUNG: Eine oder mehrere Quellen sind niedriger als 10 m.
 Die im folgenden ausgewiesenen Maximalwerte sind daher
 möglicherweise nicht relevant für eine Beurteilung!

Maximalwerte, Deposition

=====

PM DEP : 1.2335 g/(m²*d) (+/- 0.8%) bei x= 3 m, y= -16
 m (1: 22, 16)

=====

Maximalwerte, Konzentration bei z=1.5 m

=====

PM J00 : 1486.7 µg/m³ (+/- 0.4%) bei x= -5 m, y= -16 m
 (1: 20, 16)

PM T35 : n.v.

PM T00 : n.v.

=====

Auswertung für die Beurteilungspunkte: Zusatzbelastung

=====

PUNKT	01	02	03
04	05	06	07
xp	-90	-24	-27
3	57	15	-2
yp	23	18	-15
-41	-36	7	-21
hp	1.5	1.5	1.5
1.5	1.5	1.5	1.5
-----+-----+-----+-----			
+-----+-----+-----+-----			

PM DEP	0.1715 1.1%	0.1704 1.9%	0.1491 2.1%
0.2250 1.8%	0.4285 1.3%	0.6723 1.0%	1.1618 0.8%
g/(m²*d)			
PM J00	142.0 0.9%	198.2 1.1%	159.6 1.3%
262.3 1.0%	445.6 0.7%	769.2 0.6%	1230.2 0.5%
µg/m³			
PM T35	142.0 0.9%	198.2 1.1%	159.6 1.3%
262.3 1.0%	445.6 0.7%	769.2 0.6%	1230.2 0.5%
*** 0 *** µg/m³			

=====

2010-07-23 16:42:15 AUSTAL2000 beendet.

01.09.09

2010-07-22 13:38:02 -----

TalServer:C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/

Ausbreitungsmodell AUSTAL2000, Version 2.4.7-WI-x
Copyright (c) Umweltbundesamt, Berlin, 2002-2009
Copyright (c) Ing.-Büro Janicke, Dunum, 1989-2009

Arbeitsverzeichnis:

C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01

Erstellungsdatum des Programms: 2009-02-03 09:59:50

Das Programm läuft auf dem Rechner "PD104_201_1".

Beginn der Eingabe =====

```
> ti "HeidenauRecyc"           'Projekt-Titel
> z0 1.00                       'Rauhigkeitslänge
> qs 4                           'Qualitätsstufe
> az "akt0109.akt"              'AKT-Datei
> xa -129.00                     'x-Koordinate des
Anemometers
> ya -67.00                       'y-Koordinate des
Anemometers
> dd 4           8           16   'Zellengröße (m)
> x0 -83         -163        -211 'x-Koordinate der
l.u. Ecke des Gitters
> nx 40         40          26   'Anzahl Gitterzellen
in X-Richtung
> y0 -78         -158        -206 'y-Koordinate der
l.u. Ecke des Gitters
> ny 40         40          26   'Anzahl Gitterzellen
in Y-Richtung
> xq -2.00      -26.00      -61.00      -94.00      -88.00      -
53.00      7.00      33.00      -83.00      -26.00      -46.00
-35.00      9.00      -9.00      -5.00      7.00      11.00
> yq -24.00     -16.00      7.00      31.00      33.00
66.00      26.00      -61.00      31.00      48.00      24.00
-33.00      -46.00      -15.00      9.00      13.00      2.00
> hq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      4.00      4.00      4.00
4.00      4.00      5.00      2.50      2.50      2.50
> aq 39.00      39.00      39.00      42.00      49.00
69.00      69.00      46.00      31.00      37.00      29.00
48.00      22.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> bq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      37.00      12.00      21.00
15.00      48.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> cq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> wq 0.00      320.00      352.00      320.00      50.00
320.00      320.00      50.00      320.00      320.00      320.00
320.00      320.00      0.00      0.00      0.00      0.00
```

```

> vq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> dq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> qq 0.000     0.000     0.000     0.000     0.000     0.000
0.000     0.000     0.000     0.000     0.000     0.000
0.000     0.000     0.000     0.000     0.000     0.000
> sq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> lq 0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000    0.0000
> rq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> tq 0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
> pm-1 0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
> pm-2 0      0      0.049     0      0
0.0867     0      0.0198     0.0209     0.2191     0.0111
0.0033     0.0048     0.111     0.1461     0.1461     0.1461
> pm-3 0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
0      0      0      0      0      0
> xp -90.20    -24.34    -27.23     3.09     57.11
14.50     -2.10
> yp 22.71     17.66     -14.55    -40.54    -35.92
7.12     -20.76
> hp 1.50      1.50      1.50      1.50      1.50
1.50      1.50
Ende der Eingabe =====

```

Die Höhe hq der Quelle 1 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 2 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 3 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 4 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 5 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 6 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 7 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 8 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 9 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 10 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 11 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 12 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 13 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 14 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 15 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 16 beträgt weniger als 10 m.
 Die Höhe hq der Quelle 17 beträgt weniger als 10 m.

Datei im DWD-Format ab 01.04.1998.

AKTerm "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/akt0109.akt" mit 24 Zeilen, Format 2
Es wird die Anemometerhöhe ha=16.0 m verwendet.
Verfügbarkeit der AKTerm-Daten: 100.0 %

```
=====
TMT: Auswertung der Ausbreitungsrechnung für "pm"
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-j00z01" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-j00s01" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-depz01" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-deps01" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-j00z02" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-j00s02" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-depz02" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-deps02" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-j00z03" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-j00s03" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-depz03" geschrieben.
TMT: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-deps03" geschrieben.
TMT: Dateien erstellt von TALWRK_2.4.5.
TMO: Zeitreihe an den Monitor-Punkten für "pm"
TMO: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-zbpz" geschrieben.
TMO: Datei "C:/AustalVwErgebnisse/HeidenauRecycAnstroem-2009-09-01/pm-zbps" geschrieben.
=====
```

Auswertung der Ergebnisse:

=====

DEP: Jahresmittel der Deposition
J00: Jahresmittel der Konzentration/Geruchsstundenhäufigkeit
Tnn: Höchstes Tagesmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen
Snn: Höchstes Stundenmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen

WARNUNG: Eine oder mehrere Quellen sind niedriger als 10 m.
Die im folgenden ausgewiesenen Maximalwerte sind daher
möglicherweise nicht relevant für eine Beurteilung!

Maximalwerte, Deposition

```
=====
PM      DEP : 1.4280 g/(m²*d) (+/- 0.6%) bei x=   -5 m, y=    8
m (1: 20, 22)
=====
=====
```

Maximalwerte, Konzentration bei z=1.5 m

```
=====
PM      J00 : 2478.4 µg/m³ (+/- 0.2%) bei x=   -5 m, y=    8 m
(1: 20, 22)
PM      T35 :   n.v.
PM      T00 :   n.v.
=====
```

Auswertung für die Beurteilungspunkte: Zusatzbelastung

```
=====
PUNKT          01          02          03
04             05             06             07
xp             -90             -24             -27
3             57             15             -2
yp             23             18             -15
-41            -36             7             -21
hp             1.5             1.5             1.5
1.5            1.5             1.5             1.5
-----+-----+-----+-----+-----+-----
+-----+-----+-----+-----+-----+-----
-----
PM      DEP      0.1516  1.0%      0.4333  1.0%      0.2348  1.5%
0.0460  3.4%      0.0566  2.5%      0.5913  0.9%      0.1871  1.7%
g/(m²*d)
PM      J00      178.5  0.7%      509.4  0.6%      267.6  0.8%
51.2   1.8%      47.2   1.8%      646.5  0.6%      207.4  1.0%
µg/m³
PM      T35      178.5  0.7%      509.4  0.6%      267.6  0.8%
51.2   1.8%      47.2   1.8%      646.5  0.6%      207.4  1.0%
*** 0 *** µg/m³
=====
```

2010-07-22 13:40:42 AUSTAL2000 beendet.

Wetterdaten 01.09.2009

```
===== wetter.def
- TalDef: Meteorological time series 104880_2006DDKlo-anström.akt
-      Umin=0.7
.
Version = 2.6
Z0 = 1.000
D0 = 6.000
Xa=-129.0  Ya=-67.0  Ha=16.0
Ua = ?
Ra = ?
Lm = ?
WindLib = ~../lib
-----
-
!      T1      T2      Ua      Ra      Lm
- (ddd.hh:mm:ss) (ddd.hh:mm:ss) (m/s) (deg.) (m)
Z      00:00:00      01:00:00  4.0    100 -83
Z      01:00:00      02:00:00  4.0    100 -83
Z      02:00:00      03:00:00  4.0    100 -83
Z      03:00:00      04:00:00  4.0    100 -83
Z      04:00:00      05:00:00  4.0    100 -83
Z      05:00:00      06:00:00  4.0    100 -83
Z      06:00:00      07:00:00  4.0    100 -83
Z      07:00:00      08:00:00  4.0    100 -83
Z      08:00:00      09:00:00  4.0    100 -83
Z      09:00:00      10:00:00  4.0    100 -83
Z      10:00:00      11:00:00  4.0    100 -83
Z      11:00:00      12:00:00  4.0    100 -83
Z      12:00:00      13:00:00  4.0    100 -83
Z      13:00:00      14:00:00  4.0    100 -83
Z      14:00:00      15:00:00  4.0    100 -83
Z      15:00:00      16:00:00  4.0    100 -83
Z      16:00:00      17:00:00  4.0    100 -83
Z      17:00:00      18:00:00  4.0    100 -83
Z      18:00:00      19:00:00  4.0    100 -83
Z      19:00:00      20:00:00  4.0    100 -83
Z      20:00:00      21:00:00  4.0    100 -83
Z      21:00:00      22:00:00  4.0    100 -83
Z      22:00:00      23:00:00  4.0    100 -83
Z      23:00:00      1.00:00:00  4.0    100 -83
-----
```


04.06.2009 mit Zusatzquelle

```
-- AUSTAL2000-Eingaben erzeugt mit:
-- AUSTAL View Ver. 6.3.1
-- (c) Lakes Environmental Software Inc.
-- ArguSoft GmbH & Co KG
-- Datum: 12.08.2010
-- Datei: C:\AustalVwErgebnisse\HeidenauRecycAnstroem-2009-06-
04\ austal2000.txt
--
--
=====
-- Optionen Projektion
--
=====
-- PROJCTN   CoordinateSystemLocal
-- DESCPTN   ANDERE: Lokales kartesisches Koordinatensystem
-- DATUM     European Terrestrial Reference System 1989
-- DTMRGN    Europe
-- UTMXY     0.00 0.00
-- LOCALXY   0.00 0.00
--
--
=====
-- STEUERUNGS-OPTIONEN
--
=====
ti "HeidenauRecyc"           'Projekt-Titel
z0 1.00                     'Rauhigkeitslänge
qs 4                        'Qualitätsstufe
--
--
=====
-- METEO-OPTIONEN
--
=====
-- Stations-ID: 10488
-- Jahr: 01.01.2006
-- -----
-----
az "akt0406.akt"            'AKT-Datei
xa -129.00                  'x-Koordinate des Ane-
mometers
ya -67.00                   'y-Koordinate des Ane-
mometers
--
=====
-- RECHENGITTER
--
=====
dd 4                        8          16          'Zellengröße (m)
x0 -83                     -163        -211        'x-Koordinate der l.u.
Ecke des Gitters
nx 40                      40         26          'Anzahl Gitterzellen
in X-Richtung
```

```

y0 -78          -158          -206          'y-Koordinate der l.u.
Ecke des Gitters
ny 40           40           26           'Anzahl Gitterzellen
in Y-Richtung
--
--
=====
-- QUELLEN-PARAMETER
--
=====
-- xq = x-Koordinate der Quelle
-- yq = y-Koordinate der Quelle
-- hq = Höhe der Quelle (m)
-- aq = Länge in X-Richtung (m)
-- bq = Länge in Y-Richtung (m)
-- cq = Länge in Z-Richtung (m)
-- wq = Drehwinkel der Quelle (Grad)
-- vq = Abgasgeschw. der Quelle (m/s)
-- dq = Durchmesser der Quelle (m)
-- qq = Wärmestrom der Quelle (MW)
-- sq = Zeitskala
-- lq = Flüssigwassergehalt des Schwadens (kg/kg)
-- rq = Relative Feuchte des Schwadens (%)
-- tq = Austrittstemperatur (°C)
-----
-----
-- QUE_1      QUE_2      QUE_3      QUE_4      QUE_5
QUE_6      QUE_7      QUE_8      QUE_9      QUE_10     QUE_11
QUE_12     QUE_13     QUE_14     QUE_15     QUE_16     QUE_17
QUE_2Z
xq -2.00      -26.00      -61.00      -94.00      -88.00      -
53.00       7.00       33.00      -83.00     -26.00     -46.00
-35.00      9.00       -9.00      -5.00      7.00      11.00
-34.10
yq -24.00     -16.00      7.00       31.00      33.00
66.00      26.00     -61.00      31.00      48.00      24.00
-33.00     -46.00     -15.00      9.00      13.00      2.00
-14.78
hq 0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00       4.00       4.00       4.00
4.00       4.00       5.00       2.50       2.50       2.50
0.00
aq 39.00      39.00      39.00      42.00      49.00
69.00      69.00      46.00      31.00      37.00      29.00
48.00      22.00      0.00       0.00       0.00       0.00
15.00
bq 0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00      37.00      12.00      21.00
15.00      48.00      0.00       0.00       0.00       0.00
0.00
cq 0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00       0.00       0.00       0.00       0.00       0.00
0.00

```

wq	50.00	320.00	352.00	320.00	50.00	
	320.00	320.00	50.00	320.00	320.00	320.00
	320.00	320.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00					
vq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00					
dq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00					
qq	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.000					
sq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00					
lq	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0000					
rq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00					
tq	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00					

--

=====

-- EMISSIONEN

--

=====

--	QUE_1	QUE_2	QUE_3	QUE_4	QUE_5	
QUE_6	QUE_7	QUE_8	QUE_9	QUE_10	QUE_11	
QUE_12	QUE_13	QUE_14	QUE_15	QUE_16	QUE_17	
QUE_2Z						
pm-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
pm-2	0	0.049	0.049	0.0268	0.0616	
0.0867	0	0.0578	0.0209	0.2191	0.0111	
0.0131	0.0192	0.111	0	0	0	
0.05						
pm-3	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

--

=====

```

-- MONITOR-PUNKTE
=====
-- xp = x-Koordinate des Monitor-Punktes
-- yp = y-Koordinate des Monitor-Punktes
-- hp = Höhe des Monitor-Punktes
-----
-----
-- BUP_1      BUP_2      BUP_3      BUP_4      BUP_5
BUP_6      BUP_7
xp -90.20      -24.34      -27.23      3.09      57.11
14.50      -2.10
yp 22.71      17.66      -14.55      -40.54      -35.92
7.12      -20.76
hp 1.50      1.50      1.50      1.50      1.50
1.50      1.50
--
-- -----
*
```

Wetterdaten 04.06.2009

```
===== wetter.def
- TalDef: Meteorological time series akt0406.akt
-      Umin=0.7
.
Version = 2.6
Z0 = 1.000
D0 = 6.000
Xa=-129.0  Ya=-67.0  Ha=16.0
Ua = ?
Ra = ?
Lm = ?
WindLib = ~../lib
-----
-
!      T1      T2      Ua      Ra      Lm
- (ddd.hh:mm:ss) (ddd.hh:mm:ss) (m/s) (deg.) (m)
Z      00:00:00      01:00:00  3.000      280      -83.0
Z      01:00:00      02:00:00  3.000      280      -83.0
Z      02:00:00      03:00:00  3.000      280      -83.0
Z      03:00:00      04:00:00  3.000      280      -83.0
Z      04:00:00      05:00:00  3.000      280      -83.0
Z      05:00:00      06:00:00  3.00      280      -83.0
Z      06:00:00      07:00:00  3.000      280      -83.0
Z      07:00:00      08:00:00  3.000      280      -83.0
Z      08:00:00      09:00:00  3.000      280      -83.0
Z      09:00:00      10:00:00  3.00      280      -83.0
Z      10:00:00      11:00:00  3.000      280      -83.0
Z      11:00:00      12:00:00  3.000      280      -83.0
Z      12:00:00      13:00:00  3.000      280      -83.0
Z      13:00:00      14:00:00  3.00      280      -83.0
Z      14:00:00      15:00:00  3.000      280      -83.0
Z      15:00:00      16:00:00  3.00      280      -83.0
Z      16:00:00      17:00:00  3.000      280      -83.0
Z      17:00:00      18:00:00  3.000      280      -83.0
Z      18:00:00      19:00:00  3.000      280      -83.0
Z      19:00:00      20:00:00  3.000      280      -83.0
Z      20:00:00      21:00:00  3.000      280      -83.0
Z      21:00:00      22:00:00  3.000      280      -83.0
Z      22:00:00      23:00:00  3.000      280      -83.0
Z      23:00:00      1.00:00:00  3.00      280      -83.0
-----
```

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Ralf Heidenreich, Dirk Schmidt, Andreas Böhme
Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH
Bereich Luftreinhaltung
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
Telefon: +49 351 4081-520
Telefax: +49 351 4081-525
E-Mail: info@ilkdresden.de

Torsten Moczigemba, Peter Fleischer
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Referat Anlagenbezogener Immissionsschutz, Lärm
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-5208
Telefax: + 49 351 2612-5299
E-Mail: torsten.moczigemba@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

31.08.2010

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.